E 2039

MW

1

Electrof.
Victor
REFERALVA

VOLUMUL XXIX
BUCUREŞTI
IANUARIE — 1981

energetica

0 6 12 18 24

Trustul de Construcţii Hidroenergetice

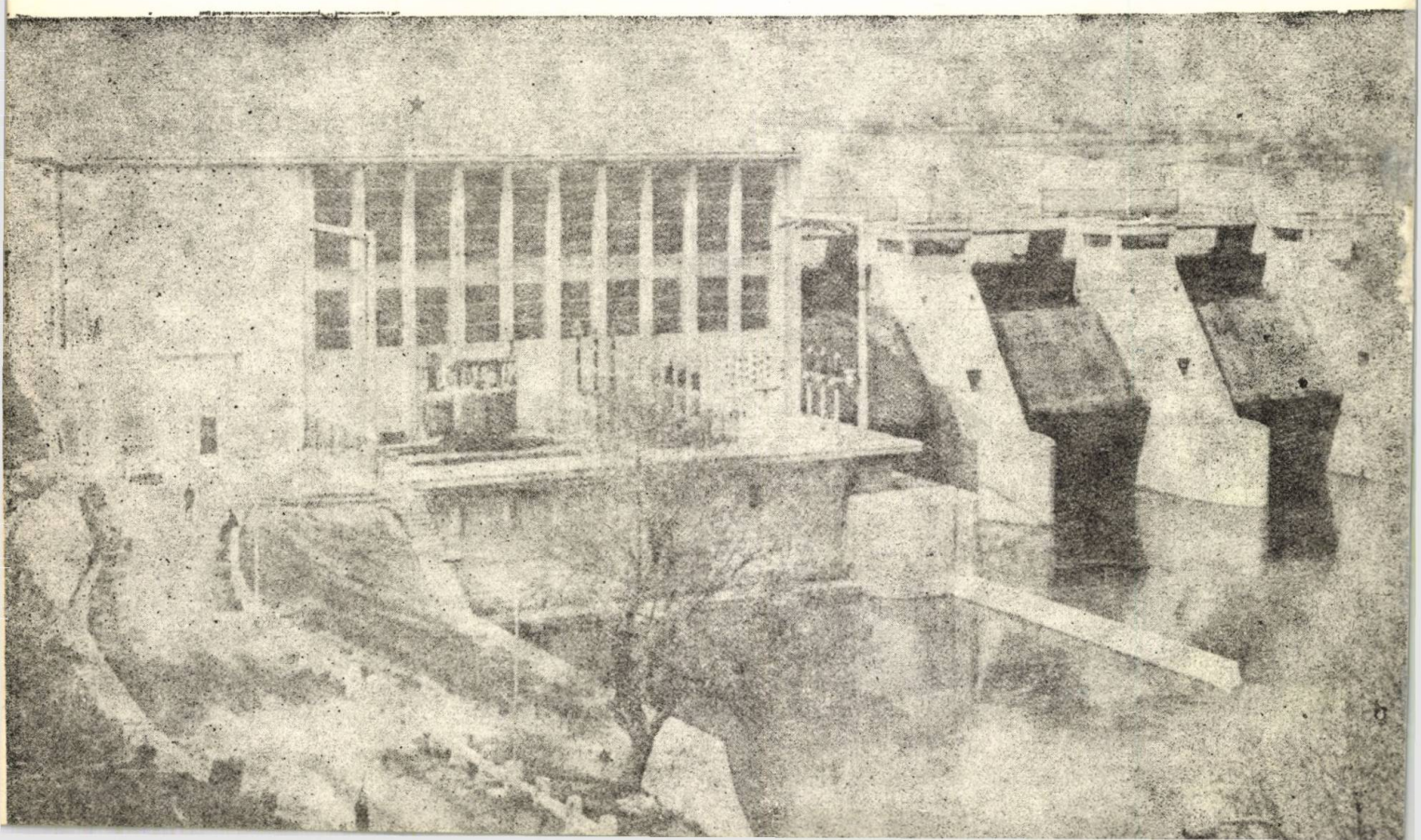
BUCUREŞTI

Str. Dimitrie Onciul Nr. 23—25
Sector 2 Coa 70318

Telefon : 35.54.70
Telex : 10244R

EXECUTĂ

- construcţii de baraje
- aducţiuni şi galerii hidrotehnice
- centrale hidroelectrice subterane şi supraterane
- ecluze de navigaţie
- gospodării de agregate şi betoane



ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 29 Nr. 1 ianuarie

ORSZÁGOS MŰSZAKI DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT

Cuprinsul

		Pag.
M. Dăncilă, C. Popescu şi Al. Mihăilă	**Scenarii de prognoză privind contribuţia surselor noi de energie, neconvenţionale, în balanţa de energie primară a României în perioada 1980—2000 (2020)**	1—13
Vl. Fara, D. Cecan şi R. Grigorescu	**Corelaţii între parametrii termici, hidraulici şi constructivi ai cavităţii receptoare a unei centrale solare cu cîmp de heliostate şi turn**	13—20
C. Dumitru	**Determinarea experimentală a temperaturii de echilibru a apei şi a coeficientului global de schimb termic apă-atmosferă**	21—25
L. Stanisavlievici	**Gradul de regenerare a schimbătorilor de ioni**	26—31
L. Bratu, Gh. Bălan, A. Bratu şi R. Enache	**Probleme legate de coordonarea izolaţiei în instalaţiile de distribuţie ale serviciilor interne din centralele electrice**	31—38
C. Moldoveanu, V. Maniţiu şi M. Marinescu Raiu	**Supraîncărcarea transformatoarelor de distribuţie în ulei**	39—42
G. Winter, V. Nicolae, V. Chiroiu şi Al. Albrecht	**Cercetări privind reducerea solicitărilor mecanice datorită vibraţiilor provocate de vînt în conductoarele liniilor electrice aeriene**	43—46
O. Ţuţuianu	**Continuitatea instalaţiilor energetice în zona Groza-veşti — Bucureşti**	47—53
	CRONICĂ	

Revista apare sub îndrumarea Consiliului ştiinţific al Institutului central de cercetări energetice

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.47 : 621.482 : 621.288

М. Дэнчилэ, К. Попеску и *Ал. Михэилэ:* **Программы прогноза касающиеся вклада новых источников энергии в первичный энергетический баланс.**

Авторы представляют прогноз теоретического энергетического потенциала новых источников цэнергии в С.Р. Румынии, а именно: солнечной энергии, ветровой, биогаза, энергии геотермальных вод, воли и т. д. Представлены также технически приспосабливаемые потенциалы новых источников энергии и оценка энергетического проникновения новой энергетической компетитивной технологии.

Energetica 29 (1981), № 1, стр. 1—13

ДК 621.47.001.2

Вл. Фара, Д. Чекан и *Р. Григореску* — **Корреляция между тепловыми, гидравлическими и конструктивными параметрами приемной кавитации одной солнечной станции с гелиостатным полем и башней.**

Изучается энергетический обмен в приемной кавитации соллнечной электростанции с гелиостатами и башней, устанавливая связи, на основе которых можно реализовать расчеты оптимизации параметров, диаграмм проверки неноминальных режимов или экономических расчетов.

Energetica 29 (1981), № 1, стр. 13—20

ДК 627.111.16 : 537.312.6

К. Думитру: **Экеперимснтальное определение температуры равновесия воды и глобального коэффициента теплового обмена вода-атмосфера.**

Автор предлагает экспериментальных путь определения натуральной температуры равновесия и коэффициента теплообмена вода-воздух, связанного с исследованиями температуры воды в реках и озерах.

Energetica 29 (1981), № 1, стр. 21—25

ДК 661.183.12 : 628. 543

Л. Станисавлиевич: **Степень регенерации ионнообменников.**

Статья представляет явления, имеющие место в ионнообменниках во время процесса общей деминерализации воды.

Energetica 29 (1981), № 1, стр. 26—31

ДК 621.311 : 621.316.1

Л. Брату, Г. Бэлан, А. Брату и *Р. Енаке:* **Вопросы, связанные с координацией изоляции на распределительных установках внутренних служб на электростанциях.**

Рассматривается координация изоляции установок внутренних служб по отношению к реальным нагрузкам эксплуатации и к определению степени подвержению этим нагрузкам. Коммутационные перенапряжения, представляющие собой текущие нагрузки эксплуатации, имея в виду актуальную структуру норм координирования, а также сетей внутренних служб необходимо иустановить своевременность повышения степени надежности в эксплуатации.

Energetica 29 (1981), № 1, стр. 31—38

ДК 621.314.212 : 621—756]

К. Молдовяну и *В. Маницу:* **Перенапряжение распределительных трансформаторов в масле.**

Представляется проверка путем расчета допускаемых нагрузок распределительных трансформаторов в масле и сравнение с данными из справочника Международной Электротехнической комиссии.

Energetica 29 (1981), № 1, стр. 39—42

ДК 621.315.5 : 621.315.1

Г. Винтер, В. Николае, В. Кирою и *Ал. Албрехт:* **Исследования касающиеся снижения механических нагрузок благодаря вибраций, вызванных ветром на проводах воздушных электрических линий.**

Energetica 29 (1981), № 1, стр. 43—46

ДК 621.3.002.5

О. Цуцуяну: **Продолжительность энергетических установок в зоне Трозвешть-Бухарест.**

Energetica 29 (1981), № 1. стр. 47—53

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.47 : 621.482 : 621.288

M. Dăneilă, C. Popescu und *Al. Mihăilă*: **Prognosisschläge zum Beitrag neuer, nichtkonventioneller Energiequellen in der Primärenergiebilanz**

Die Verfasser stellen die Prognosis des theoretischen Energiepotentials der nichtkonventionellen Energiequellen für die SRR wie folgt vor : Sonnenergie, Windenergie, Biogas, geothermale Gewässerenergie, Wellenenergie usw. Es werden zugleich die technisch anlegbaren Potentiale der angeführten nichtkonventionellen Energiequellen aufgezeichnet, sowie Abschatzungen des wirtschaftlichen Einsatzes neuer kompetitiver Energietechnologien.

Energetica 29 (1981), H. 1, S. 1—13

DK 621.47.001.2

Vl. Fara, D. Cecan und *R. Grigorescu* : **Korrelationen zwischen den thermischen, hydraulischen und bautechnischen Kennwerten der Empfängeraushöhlungen eines Sonnenkraftwerks mit Heliostaten und einem Turm**

Es wird der Energieaustausch in der Empfängeraushöhlung eines Sonnenkraftwerks mit Heliostaten und einem Turm vorgestellt, indem Beziehungen zur Kennwertoptimierungs-Berechnung aufgestellt werden, sowie Diagramme zur Überprüfung des Nennbetriebes und Wirtschaftlichkeitsberechnungen.

Energetica 29 (1981), H. 1, S. 13—20

DK 627.11/.16 : 537.312.6

C. Dumitru : **Die experimentelle Bestimmung der Ausgleichstemperatur des Wassers und der globalen Wärmeaustauschkennzahl Wasser—Umgebungsluft**

Der Verfasser schlägt ein Veruchsverfahren vor zur Bestimmung der natürlichen Ausgleichstemperatur und der Wärmeaustauschkennzahl Wasser-Umgebungsluft in Verbindung mit dem Studium der Temperatur der Fluss- und Seegewässer.

Energetica 29 (1981), H. 1, S. 21—25

DK 661.183.12 : 628.543

L. Stanisavlievici : **Der Regenerierungsgrad der Ionenaustauscher**

Der Bericht umfasst die in den Ionenaustauschern stattgefundenen Phänomene während des totalen Wasserreinigungsprozesses.

Energetica 29 (1981), H. 1, S. 26—31

DK 621.311 : 621.316.1

L, Bratu, Gh. Bălan, A. Bratu und *R. Enache* : **Fragen der Isolationskoordinierung in den Verteilungseinrichtungen der Eigendienststellen der Elektroenergieanlagen**

Es wird die Isolationskoordinierung in den Verteilungseinrichtungen der Eigendienststellen verglichen mit den reellen Betriebsbeanspruchungen und mit der Bestimmung des Beanspruchungsgrades beschrieben. Die Umschaltüberspan-

...agen sind laufende Betriebsbeanspruchungen, welche in ...tracht genommen werden müssen bei der Erhöhung der ...triebszuverlässigkeit, ohne dabei die gegenwärtige Struktur ...er Koordinierungsnormen und der Eigendienststellen zu ...nachlässigen.

...ergetica 29 (1981), H. 1, S. 31–38

DK 621.314.212 : 621-756

C. Moldoveanu und *V. Manițiu*: **Die Überbeanspruchung der ölisolierten Verteilungstrafos**

Es wird die rechnerische Überprüfung der zulässigen Überbeanspruchungen bei den ölisolierten Verteilungstrafos und der Vergleich mit den IEC-Vorschriften gegeben.

Energetica 29 (1981), H. 1, S. 39–42

DK 621.315.5 : 621.315.1

G. Winter, V. Nicolae, V. Chiroiu und *Al. Albrecht*: **Studien über die Herabsetzung der windinduzierten mechanischen Beanspruchungen in den Freileitungen**

Energetica 29 (1981), H. 1, S. 43–46

DK 621.3.002.5

O. Țuțuianu: **Der ununterbrochene Betrieb der Energieanlagen des Grozăvești-Viertels aus Bukarest**

Energetica 29 (1981), H. 1, S. 47–53

SOMMAIRE

CD 621.47 : 621.482 : 621.288

M. Dăncilă, C. Popescu et *Al. Mihăilă*: **Scénarios de prévision concernant la contribution des nouvelles sources d'énergie, non-conventionnelles, à la balance d'énergie primaire**

Les auteurs présentent la prévision du potentiel énergétique théorique des sources non-conventionnelles en Roumanie, c'est à dire: l'énergie solaire, éolienne, le bio-gas, l'énergie des eaux géothermales, celle des vagues etc. On présente également les potentiels techniquement aménageables des sources non-conventionnelles ci-dessus mentionnées et les évaluations sur la pénétration économique des certaines technologies nouvelles, compétitives.

Energetica 29 (1981), no. 1, p. 1–13

CD 621.47.001.2

Vl. Fara, D. Cecan et *R. Grigorescu*: **Corrélations entre les paramètres thermiques, hydrauliques et constructifs de la cavité réceptrice d'une centrale solaire à champs d'héliostates et à tour**

On étudie l'échange énergétique qui a lieu dans la cavité réceptrice d'une centrale solaire-électrique à champs d'héliostates et à tour, en établissant des relations sur la base desquelles on peut faire des calculs en vue de l'optimisation des paramètres, des diagrammes de contrôle des régimes non-nominaux ou des calculs économiques.

Energetica 29 (1981), no. 1, p. 13–20

CD 627.11/.16 : 537.312.6

C. Dumitru: **Détermination expérimentale de la température d'équilibre de l'eau et du coefficient global d'échange thermique eau-atmosphère**

L'auteur propose une voie expérimentale pour déterminer la température naturelle d'équilibre et le coefficient d'échange de chaleur eau-air, à la suite des recherches concernant la température de l'eau des rivières et des lacs.

Energetica 29 (1981), no. 1, p. 21–25

CD 661.183.12 : 628.543

L. Stanisavlievici: **Le degré de régénération des échangeurs d'ions**

L'article présente les phénomènes qui se produisent dans les échangeurs d'ions au cours du procéssus de déminéralisation totale de l'eau.

Energetica 29 (1981), no. 1, p. 26–31

CD 621.311 : 621.316.1

L. Bratu, Gh. Bălan, A. Bratu et *R. Enache*: **Problèmes liés à la coordination de l'isolation des installations de distribution des services internes dans les centrales électriques**

On examine la coordination de l'isolation des installations des services internes par rapport aux sollicitations réelles de l'exploitation et la détermination du degré d'exposition à de telles sollicitations. Les surtensions de commutation étant des sollicitations courantes d'exploitation, compte tenu de la structure actuelle des normes de coordination, ainsi que de celle des réseaux des services internes, il est nécessaire que l'on établisse l'opportunité de l'augmentation du degré de fiabilité dans l'exploitation.

Energetica 29 (1981), no. 1, p. 31–38

CD 621.314.212 : 621-756

C. Moldoveanu et *V. Manițiu*: **Surcharge des transformateurs de distributions en huile**

On présente la vérification à l'aide des calculs des surcharges admissibles des transformateurs de distribution en huile, ainsi que la comparaison avec les données du guide de la Commission Electrotechnique internationale.

Energetica 29 (1981), no. 1, p. 39–42

CD 621.315 : 5 : 621.315.1

G. Winter, V. Nicolae, V. Chiroiu et *Al. Albrecht*: **Recherches concernant la diminution des sollicitations mécaniques dues aux vibrations provoquées par le vent dans les conducteurs des lignes électriques aériennes**

Energetica 29 (1981), no. 1, p. 43–46

CD 621.3.002.5

O. Țuțuianu: **La continuité des installations énergétiques dans la zone Grozăvești-Bucarest**

Energetica 29 (1981), no. 1, p. 47–53

CONTENTS

DC 621.47 : 621.482 : 621.288

M. Dăncilă, C. Popescu and *Al. Mihăilă*: **Prognosis Scenarios Regarding New Non-conventional Energy Sources Contribution to the Primary Energy Balance in Romania**

The authors present the theoretic energy potential of non-conventional sources in Romania, i.e.: solar energy, wind energy, biogas, geothermal energy, waves energy etc. The technically usable potentials of the mentioned non-conventional sources are enumerated as well as appreciations regarding the economic penetration of new competitive energy technologies.

Energetica 29 (1981), nr. 1, p. 1–13

DC 621.47.001.2

Vl. Fara, D. Cecan and *R. Grigorescu*: **Correlations Between Thermal, Hydraulic and Constructive Parameters of the Receiver Cavities of a Solar Power Plant with Heliostats and Tower**

The energy exchange in the receiver cavity of a solar power plant with heliostats and tower is studied, elaborating on the basis of relations parameters optimization calculations, testing diagrams for non-nominal regimes or economic calculations.

Energetica 29 (1981), nr. 1, p. 13—20

DC 627.11/.16 : 537.312.6

C. Dumitru: **Experimental Determination of the Equilibrium Temperature of the Water and of the Global Thermal Exchange Coefficient Water-Atmosphere**

The author proposes an experimental determination way of the natural equilibrium temperature of the water-air heat exchange coefficient, connected to the researches regarding the rivers and lakes water temperature.

Energetica 29 (1981), nr. 1, p. 21—25

DC 661.182.12 : 628.543

L. Stanisavlievici: **The Regeneration Degree of Ions Exchangers**

The paper presents the phenomena within ion exchangers during the total water demineralization process.

Energetica 29 (1981), nr. 1, p. 26—31

DC 621.311 : 621.316.1

L. Bratu, Gh. Bălan, A. Bratu and *R. Enache*: **Problems of Insulation Coordination in Distribution Installations of Electric Power Plants Internal Services**

The insulation coordination of internal services installations compared to the real operation stresses and the determination of their exposure degree to these stresses is examined. The switching overvoltages are current operation stresses which call for the opportunity to establish the reliability increase degree, considering the present structure of the coordination norms, as well as that of internal services networks.

Energetica 29 (1981), nr. 1, p. 31—38

DC 621.314.212 : 621-756

C. Moldoveanu and *V. Manițiu*: **Oil Insulated Distribution Transformers Overloading**

The calculation checking of admissible oil insulated distribution transformer overloading and the comparison with the IEC-Guide data are presented.

Energetica 29 (1981), nr. 1, p. 39—42

DC 621.315.5 : 621.315.1

G. Winter, V. Nicolae, V. Chiroiu and *Al. Albrecht*: **Researches Regarding the Decrease of the Mechanical Stresses Due to Wind Induced Vibrations on OHEL**

Energetica 29 (1981), nr. 1, p. 43—46

DC 621.3.002.5

O. Țuțuianu: **Energy Installations Continuity in the Grozăvești-Quarter of Bucharest**

Energetica 29 (1981), nr. 1, p. 47—53

Scenarii de prognoză privind contribuţia surselor noi de energie neconvenţionale, în balanţa de energie primară a României, în perioada 1980—2000 (2020)*)

Ing. Marius M. Dăncilă
Ing. Constantin Popescu
Ing. Alexandru Mihăilă**)

Obiectivul prognozei dezvoltării producţiei de energie electrică şi căldură din surse alternative, reînnoibile şi considerate practic inepuizabile, îl constituie stabilirea programelor strategice de dezvoltare tehnologică şi de introducere a progresului tehnic, necesare implementării şi proliferării acestor tehnologii. Deşi eforturile financiare — din punctul de vedere al investiţiilor — sînt deosebite, sistemele de conversie ale resurselor alternative beneficiază de avantajul prelucrării unor resurse permanent reînnoibile.

În competiţia tehnico-economică dintre diferitele tehnologii de conversie a energiei primare în energie electrică şi căldură, intervin o serie de restricţii naturale, ca de exemplu caracterul limitat al unora dintre resurse, cît şi de natură conjuncturală, cum ar fi limitarea treptată a accesului la furnizorii de hidrocarburi şi materii prime energetice, în general. Aceste constrîngeri au o serie de consecinţe asupra ponderii diferitelor categorii de resurse în producerea de energie electrică şi căldură necesare societăţii pentru dezvoltarea sa economică.

În acest fel, ponderea principalelor tehnologii de producere a energiei electrice şi căldurii în diferite etape ale intervalului de prognoză considerat va fi determinată de saturaţia sau epuizarea resursei analizate. Urmarea unei asemenea evoluţii — absolut normală la scară istorică — este structurarea eforturilor şi stimularea activităţilor de introducere în ritmuri susţinute, cu eforturi financiare importante, a tehnologiilor alternative de producere a energiei electrice şi căldurii, pentru asigurarea consumului intern.

În contextul saturării sau chiar al epuizării potenţialului de producere a energiei electrice şi căldurii prin conversia principalelor resurse convenţionale, clasice, alternativele previzibile pentru intervalul examinat sînt, evident, sursele nucleare, sursele noi (în principal solară şi eoliană) şi tehnologiile termonucleare.

*) Comunicare prezentată la Sesiunea tehnico-ştiinţifică a ICEMENERG „Contribuţii la dezvoltarea energeticii româneşti", Bucureşti, 26—28 iunie 1980.

**) Autorii sînt cercetători ştiinţifici principali la ICEMENERG—Bucureşti, Secţia de energetică generală, industrială şi surse noi de energie.

1. Potenţialul energetic al surselor neconvenţionale în România

Contribuţia potenţială a surselor noi, în particular a celor considerate inepuizabile, în balanţa de energie primară, depinde de:

— caracteristicile resursei;

— ritmul progresului tehnic în tehnologiile specifice prin care se pun în valoare (din care multe se află încă în stadiu incipient, de cercetare experimentală);

— succesul în rezolvarea unor probleme de cercetare fundamentală (cum este, spre exemplu, problema acumulării pe termen lung a căldurii, în condiţii economic avantajoase);

— evoluţia conjuncturii pieţei combustibililor clasici;

— ritmul penetraţiei, la scară industrială, a tehnologiilor de valorificare (ritm care este condiţionat de toate aspectele enumerate mai sus) etc.

Pentru principala resursă energetică neconvenţională — energia solară cu toate formele ei de manifestare directă (căldură) şi indirectă (energia hidraulică — aşa-numitul ciclu natural al apei, energia eoliană, energia valurilor şi energia înmagazinată prin procese naturale de fotosinteză) — estimările referitoare la contribuţia potenţială depind în măsură esenţială de condiţiile geografice ale ţării, de suprafeţele de teren disponibile utilizărilor energetice etc., condiţii ce impun, evident, restricţii asupra cuantumului energiei solare ce poate fi convertită economic în forme de energie utilă.

Potenţialul energetic al resursei geotermale — considerată ca făcînd parte din categoria resurselor reînnoibile (dar epuizabilă la scară istorică) — se stabileşte pe baza unor studii geologice. Pentru acest gen de resursă se apreciază că potenţialul economic amenajabil este apropiat de potenţialul tehnic amenajabil (pentru adîncimi de foraj mici şi medii). Problemele ce apar în acest caz sînt legate de amplasarea consumatorilor adecvaţi în zone cu resurse geotermale, rezolvarea aspectelor ce depind de caracteristicile locale ale sursei etc.

O serie de alte resurse — cum ar fi, de exemplu, biogazul obţinut în sectorul agrozootehnic şi industria alimentară, biogazul provenit din staţiile de epurare a apelor uzate orăşeneşti, deşeurile menajere, căldura de joasă temperatură recuperată cu pompe de căldură — sînt incluse în mod convenţional în rîndul surselor noi, datorită caracterului, de regulă, neconvenţional al tehnologiilor pentru valorificarea acestora. Potenţialele energetice ale acestor resurse se apreciază luînd în considerare o serie de factori, ca, de exemplu: creşterea economică şi structura industrială, politica de urbanizare şi demografică, modul de viaţă al populaţiei, dezvoltarea sectorului agricol, creşterea şeptelului etc.

Precizăm totuşi că datele asupra potenţialelor energetice pentru sursele noi de energie nu pot fi considerate decît ca estimări la nivelul stadiului actual de cunoaştere a soluţiilor tehnologice de valorificare. Întrucît aceste concepte se modifică rapid în timp, funcţie de evoluţia dinamică a tehnologiilor de valorificare, datele prezentate vor trebui revizuite periodic, la fel ca orice prognoză energetică bazată pe ele.

1.1. *Potenţialul teoretic al resursei solare în condiţiile R.S.R.*

Energia solară este un flux energetic dispers şi intermitent. Variaţiile diurne, sezoniere şi climatic-locale ridică probleme dificile pentru valorificarea pe scară largă, în condiţii de economicitate şi fiabilitate convenabile. Fluxul de radiaţie solară instantanee, direct şi difuz, recepţionat la nivelul solului, poate fi convertit prin tehnologii adecvate, în alte forme de energie : căldură de joasă şi înaltă temperatură, energie electrică, combustibili sintetici prin diferite procese controlate de biofotosinteză etc. —, toate aceste forme constituind manifestări fenomenelor climatice, biologice, ecologice — sub aspectul menţinerii echilibrului termic necesar asigurării condiţiilor normale de desfăşurare a vieţii. *Potenţialul tehnic amenajabil* al resursei — fracţiune din potenţialul teoretic — indică de fapt capacitatea de conversie concretă a energiei solare în alte forme de energie utilă.

Calculul radiaţiei totale interceptate de la Soare pe teritoriul ţării noastre porneşte de la datele furnizate de [1] privind energia totală primită de la Soare pe întreg globul pămîntesc în timpul unui an, precum şi repartiţia acesteia pe diferitele componente. Raportul Comisiei de conservare a energiei din cadrul Conferinţei Mondiale a Energiei estimează că repartiţia fluxului total anual de radiaţie solară se face după cum se arată în tabelul 1.

În cele ce urmează se avansează ipoteza că repartiţia menţionată în tabelul 1, stabilită pe baza unor date mediate pentru întreaga suprafaţă a globului terestru, rămîne valabilă şi în cazul teritoriului României. În acest context, în tabelul 2 sînt prezentate estimările corespunzătoare potenţialelor teoretice, la scară mondială şi pentru cazul ţării noastre, în valori

Tabelul 1

Repartiţia fluxului total anual de radiaţie solară, la nivel planetar, conform [1]

Componenta	Pondere %	Observaţii
1. Reflexie directă	34,1	Energie reflectată direct de ansamblul atmosferă, uscat, mări şi oceane (radiaţie pe unde scurte)
2. Energie absorbită şi convertită direct în căldură (interceptată la nivelul suprafeţei pămîntului ; radiaţie directă şi difuză)	41,6	Pe măsura ridicării temperaturii corpurilor absorbante, acestea emit radiaţii pe unde lungi, asigurîndu-se astfel echilibrul termic
3. Energie absorbită în ciclul natural al apei (evaporare, precipitaţii etc. ; formă indirectă de manifestare a energiei solare)	21,9	Asigură ansamblul fenomenelor hidro
4. Energie absorbită care conduce la formarea vîntului, valurilor (formă indirectă de manifestare a energiei solare)	2,15	Absorbţie în atmosferă ; producerea gradienţilor de temperatură şi umiditate între zone. Valurile apar ca rezultat al acţiunii vîntului
din care : en. eoliană	2,0	
en. valuri	0,15	
5. Energie absorbită în procese naturale de fotosinteză (formă indirectă de manifestare a energiei solare)	0,25	Se înmagazinează în biomasa vegetală naturală
TOTAL :	100,00%	

directe ale energiei solare. Formele indirecte de manifestare a radiaţiei solare (energie hidraulică, eoliană, valuri etc.) pot fi de asemenea convertite în alte forme de energie utilă.

În cazul energiei solare, potenţialul teoretic se consideră energia radiantă totală care se recepţionează pe Pămînt (respectiv pe teritoriul unei ţări sau zone) şi care este izvorul tuturor absolute, calculate pe baza ponderii fiecărei componente, aşa cum sînt acestea indicate în tabelul 1.

Pentru verificarea prin calcul a potenţialului teoretic solar, s-au luat în considerare următoarele premise :

a) Valoarea fluxului total al radiaţiei solare în afara atmosferei terestre (constanta

Tabelul 2

Potențiale teoretice ale resursei solare, la scară mondială și pentru România

Nr. crt.	Componenta	La scară mondială $\times 10^7$ mil. tcc/an	R. S. România $\times 10^3$ mil. tcc/an
1	Reflexie directă	6,671	31,06
2	Energie absorbită și convertită direct în căldură	8,156	37,98
3	Energie absorbită în ciclul natural al apei	4,294	19,99
4	Energie eoliană	0,398	1,853
5	Energia valurilor	0,0317	0,147
6	Energie absorbită în procese naturale de fotosinteză	0,0429	0,199
	TOTAL	19,59	91,23

solară) este : 1353 $\pm$ 1,5 W/m^2 [2] (flux pe suprafață normală la direcția radiației).

b) Întrucît țara noastră este situată geografic la o latitudine medie de 45°, valoarea fluxului incident trebuie diminuată cu cos 45° = 0,707, considerînd fascicolul incident de radiație solară ca fiind plan-paralel. În ceea ce privește precesia axului de rotație al Pămîntului în planul orbital de $\pm$ 23°, această influență se mediază pe parcursul unui an.

c) Durata medie anuală a zilei de 12 ore. Durata insolației efective anuale este prin urmare de 4380 ore.

d) Deoarece unghiul de incidență al radiației variază de la 0° la 180° (răsărit-apus), mediind unghiul de incidență pe durata unei zile este necesar să amendăm valoarea fluxului radiant cu un coeficient egal cu 0,707.

Rezultă prin urmare că fluxul total al radiației solare în zona României, considerat pe perioada unui an, va fi :

$$q = 1{,}353 \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}\right] \times 4380 \left[\frac{\text{ore}}{\text{an}}\right] \times 0{,}707^2 = 2963{,}07 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}\right] \quad (1)$$

sau

$$q = \frac{2963{,}07 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}\right] \times 860 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kWh}}\right]}{7000 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg c.c.}}\right]} = 364{,}03 \left[\frac{\text{kg c.c.}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}\right]^{*)} \quad (2)$$

La limita atmosferei, corespunzător suprafeței R.S.R., energia incidentă totală este echivalentă cu :

$$q_{tot} = 364{,}03 \left[\frac{\text{kg c.c.}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}\right] \times 237\,500\ [\text{km}^2] = 86{,}457 \times 10^3 \text{ mil. t c.c./an} \quad (3)$$

Deoarece 34,1% din această cantitate se pierde prin radiație în spațiu — deci nu contribuie în nici un fel la procesele de pe Pămînt — rezultă că *potențialul teoretic specific* al resursei solare, în zona țării noastre, este :

$$q_{sp} = q \times (1 - 0{,}341) = 364{,}03 \left[\frac{\text{kg c.c.}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}\right] \times 0{,}659 \cong 240{,}0 \left[\frac{\text{kg c.c.}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}\right] \quad (4)$$

Ținînd seama de repartiția pe componente — așa cum se indică în tabelul 1 — potențialul teoretic al resursei solare pentru țara noastră apare după cum urmează :

Tabelul 3

Potențialul teoretic al resursei solare în condițiile R.S.R.

Nr. crt.	Componenta	Potențialul teoretic $\times 10^3$ mil. tcc/an
1	Energie solară absorbită și convertită direct în căldură (flux instantaneu direct și difuz)	35,966
2	Energie solară indirectă :	
	— energie hidro	18,934
	— energie eoliană	1,730
	— energia valurilor	0,130
	— energie înmagazinată prin procese naturale de fotosinteză	0,200
	TOTAL	$\simeq$57,00

Datele înscrise în tabelul 3 nu diferă decît cu 4,5—5% de estimările Comisiei de conservare a energiei (tabelul 2), motiv pentru care în continuare se va lucra cu ele. Deoarece energia solară indirectă — înmagazinată în ciclul natural al apei (energie hidro), precum și cea înmagazinată în procesele naturale de fotosinteză nu vor mai fi tratate detaliat în prezenta lucrare, facem următoarele precizări :

Energia hidraulică reprezintă totalitatea manifestărilor ciclului apei în natură. În cazul prognozelor efectuate în România, acest potențial — cu toate că este de natură solară — nu este inclus în cadrul surselor neconvenționale. În S.U.A., energia hidraulică este inclusă în

*) Pentru a verifica cifrele obținute prin acest calcul, s-a reluat q = 364,03 kg c.c./m^2·an, care, în cazul energiei solare directe convertită în căldură (41,6% din total — conform tabelului 1), cu un randament mediu anual de conversie al captatoarelor solare experimentate de ICCPDC — INCERC și INCREST egal cu 35% și un randament de comparație de 80 (85)% pentru cazane termice, conduce la :

$$q = 364{,}03 \left[\frac{\text{kg c.c.}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}\right] \times 0{,}416 \times 0{,}35 \times \frac{1}{0{,}8\ (0{,}85)} = 66{,}3(62{,}4) \left[\frac{\text{kg c.c.}}{\text{m}^2 \cdot \text{an}}\right],$$

valoare ce concordă cu cifra corespunzătoare de calcul a economiilor efective medii anuale de combustibil convențional de 60—70 kg c.c./m^2·an, rezultată din experimentări.

categoria surselor neconvenţionale, inepuizabile — ceea ce a creat numeroase confuzii privind capacitatea energetică, respectiv potenţialul amenajabil al resursei solare în această ţară [3], [4].

De asemenea, subliniem că potenţialul hidroenergetic tehnic amenajabil nu trebuie în nici un caz confundat cu cifra dată în tabelul 3. Acest potenţial se stabileşte funcţie de amplasamentele posibile (capacitate de acumulare, diferenţe de nivel, debite etc.). Potenţialul hidroenergetic tehnic amenajabil al României, conform evaluărilor recente [5], este de circa 40 TWh/an — cifră ce corespunde la circa 0,025% din valoarea corespunzătoare potenţialului teoretic hidro înscris în tabelul 3.

Din totalul înscris în tabelul 3, circa 0,3% — adică circa 20 mil. t c.c./an — se obţin în prezent sub formă de masă vegetală, care însă nu se foloseşte în scopuri energetice decît în foarte mică măsură (lemn şi unele deşeuri vegetale din agricultură, biogaz etc.).

1.2. *Potenţialul amenajabil al resursei solare în România*

Pentru stabilirea potenţialului amenajabil al resursei solare, ne-am orientat după estimările formulate în raportul citat al Comisiei de conservare a energiei [1]. Avînd un caracter estimativ, aceste valori presupun, într-o perspectivă pe termen mediu şi lung, realizarea unor tehnologii competitive din punct de vedere economic în raport cu tehnologiile energetice clasice în evoluţia lor dinamică.

Pentru condiţiile ţării noastre s-a apreciat că potenţialul amenajabil al resursei solare poate reprezenta circa 0,1% din potenţialul teoretic al acesteia (exclusiv hidroenergia), rezultînd:

$$E_{amenaj.\ solar} = (E_{solar\ tot.} - E_{solar\ hidro.}) \times 0{,}1\% \cong$$

$$\cong 38-40 \text{ mil. t c.c./an} \qquad (5)$$

1.3. *Resursele geotermale în România: potenţial energetic şi posibilităţi de valorificare*

Resursele geotermale existente într-un număr de 14 zone din R.S.R., conturate prin cercetări geologice efectuate de M.M.P.G., sînt reprezentate de ape geotermale cu temperaturi cuprinse între 40—120°C (şi în perspectivă chiar 170°C) şi debite medii pe foraj de 30—35 m³/h.

Din apele geotermale se poate extrage căldura în scopuri energetice, prin răcire de la temperatura iniţială pînă la circa 30—40°C, după care apa poate fi utilizată în scopuri balneoterapeutice şi de agrement, pentru încălzirea solului şi irigaţii, pentru reinjectarea în zăcămînt (în vederea conservării rezervorului subteran şi evitării poluării chimice şi termice) etc.

Diferenţa de temperatură ce poate fi valorificată energetic în prima treaptă este în medie de 50° (variaţii între 10—70°), asigurîndu-se o cantitate totală exploatabilă de căldură de 2 670 500 Gcal/an (1 557 500 Gcal/an din rezerve certe şi 1 113 000 Gcal/an rezerve prognozate), cu condiţia executării a circa 430 foraje de exploatare în plus faţă de cele circa 85 existente şi exploatate în prezent.

În treapta a doua de valorificare a apei geotermale (sub 40°C), în scop de agrement, tratament şi de încălzire a solului, se poate conta pe un debit total de circa 9750 m³/oră, care conţine o cantitate totală de căldură de circa 1 165 000 Gcal/an.

Zonele cu ape geotermale cu posibilităţi de valorificare preponderent energetică, avînd $\theta_{med} \geqslant 70°C$, reprezintă peste 75% din potenţialul total exploatabil al resursei, menţionîndu-se în acest sens: Săcuieni-Harghita, Borş, Girişu de Criş, Ciumeghiu-Salonta, Sînicolau şi Cebza-Banloc. O a doua categorie de zone geotermale este reprezentată de cele în care temperatura apei este cuprinsă între 55—65°C (Timişoara—Variaş, Arad—Chişineu, Carei, Satu Mare), unde valorificarea energetică relativ redusă poate fi compensată cu utilizări balneare şi de agrement. A treia categorie de zone sînt cele cu ape geotermale cu caracter preponderent balneo-terapeutic (Felix, Herculane, Căciulata-Cozia, Tuşnad).

Potenţialul energetic total al resurselor geotermale exploatabile în cele 14 zone de interes din ţara noastră este de circa 3,8 mil. Gcal/an, ceea ce reprezintă un echivalent de circa 550 mii t c.c./an. Valorificarea integrală a acestui potenţial — în comparaţie cu producerea aceleiaşi cantităţi de căldură cu combustibili clasici în centrale termice — poate conduce la disponibilizarea anuală a circa 700 mii t c.c.

1.4. *Potenţialul energetic al altor surse neconvenţionale destinat acoperirii necesarului de căldură*

Biogazul şi deşeurile menajere sînt, prin convenţie, incluse în categoria surselor noi. Trebuie precizat însă că ele reprezintă de fapt o anumită parte din energia solară înmagazinată sub formă de biomasă prin procese naturale de fotosinteză.

Evaluarea potenţialelor energetice ale acestor resurse, cît şi stabilirea programelor de valorificare a acestora în intervalul de prognoză considerat constituie rezultatul unor studii între-

prinse la o serie de institute de specialitate și sintetizate în cadrul materialului de sinteză elaborat de CNST în cursul anului 1980 [7].

Se apreciază astfel că, la nivelul anului 2000, aportul energetic al biogazului provenit din agricultură, industria alimentară și stațiile de epurare a apelor reziduale urbane va atinge cifra de 450 mii t c.c./an, iar aportul energetic prin valorificarea deșeurilor menajere va disponibiliza o cantitate de circa 200 mii t c.c./an.

Se impune să subliniem aici faptul că, pentru intervalul de prognoză considerat (1980—2000), aportul energetic ca urmare a valorificării acestor resurse va cunoaște o creștere rapidă în prima jumătate a intervalului, după care creșterea va fi relativ lentă, datorită saturării posibilităților de amenajare economică.

2. Evaluarea capacității de utilizare a surselor noi pentru asigurarea necesarului de căldură în România

Capacitatea de utilizare a resursei solare sub formă de căldură de joasă temperatură (apă caldă pentru consum menajer, sanitar și tehnologic, încălzire spații) se poate determina pornind de la capacitatea reală de realizare economică, la scară industrială de mare serie, a captatoarelor solare. Este cunoscut faptul că prin intrarea în funcțiune și atingerea capacității nominale de producție a întreprinderii Sadu, producția de captatoare solare va fi de 170 mii m² în 1981, respectiv 350 mii m² în 1983. Admițînd un efort deosebit în domeniul dezvoltării capacităților de producție pentru fabricarea captatoarelor solare, se propune luarea în considerare a următoarelor scenarii privind evoluția construcției captatoarelor, capacității de economisire și a aportului sub formă de economii de combustibil convențional.

Din tabelul 4 rezultă că pentru atingerea obiectivului propus de 400 mii t c.c. economisite la nivelul anului 1985, scenariul A impune realizarea și intrarea în funcțiune a cel puțin 7 capacități de producție de tip Sadu, iar la nivelul anului 2000, cu ritmurile de creștere a producției menționate, capacitatea de economisire ar putea ajunge la circa 4,5 mil. t c.c./an —deci cu peste 2 mil. t c.c./an față de aprecierile actuale. Scenariul B presupune un efort financiar eșalonat pe 10 ani, astfel încît la sfîrșitul acestei perioade capacitatea de economisire ar fi practic egală cu cea corespunzătoare primei variante, dar care, la nivelul anului 2000, presupune un aport energetic de circa 10 mil. t c.c./an — prin urmare de 5 ori estimările actuale privind posibilitățile de valorificare ale resursei.

Ambele scenarii se corelează cu prevederile referitoare la ritmul construcției de locuințe în România în etapele viitoare. Așa, spre exemplu, considerînd că în cincinalul viitor se vor construi circa 1 mil. apartamente, iar dintre acestea 20—30% vor fi dotate cu sisteme solare de încălzire a apei sanitar-menajere, rezultă un necesar de cel puțin 1,5 mil. m² captatoare instalate în mediul urban — deci circa 60% din capacitatea instalată. Restul de captatoare solare se vor utiliza în scopuri tehnologice, în sectorul industrial. Evoluția menționată va fi posibilă numai dacă instalațiile solare vor fi realizate astfel încît să permită obținerea economiei maxim posibile de combustibil în condițiile țării noastre (70 kg c.c./m² · an), deci în instalații cu funcționare anuală.

O atenție deosebită trebuie acordată introducerii instalațiilor pentru valorificarea căldurii solare în industrie, agricultură și zootehnie — respectiv în procese tehnologice, unde,

Tabelul 4

Evoluția capacității de utilizare a energiei solare pentru acoperirea necesarului de căldură (scenariile A și B)

Anul		1981	1982	1983	1984	1985	1990	1995	2000
Producție anuală [x10³m²]	sc. A	170	330	600	1250	2500	3000	3500	4000
	sc. B	170	255	383	575	860	6500	10500	13400
Ritm mediu anual de creștere a producției	sc. A		←1,95→			←1,04→		←1,03→	←1,025→
	sc. B			←1,5→				←1,1→	←1,05→
Capacitate instalată (cumulat) [x10³m²]	sc. A	170	500	1100	2350	4850	19350	35850	54850
	sc. B	170	425	808	1383	2243	19200	62900	123000
Capacitate de economisire*) [x10³tc.c./an]	sc. A	14	35	75	173	400	1593	2950	4500
	sc. B	14	32,5	67	114	185	1580	5150	10100
Capacități de producție tip Sadu [nr.] (350 mii m²/an)	sc. A	1	1	2	4	7	9	10	12
	sc. B	1	1	1	2	3	19	30	40

*) S-a ținut seama și de aportul suplimentar de 15—20% al sistemului pasiv pentru încălzirea spațiilor.

prin funcţionare pe toată durata anului, se pot obţine economii maxime. Această tendinţă este de altfel caracteristică pentru ţări ca Franţa şi S.U.A. [3], [6] — state cu cele mai importante realizări în domeniu la ora actuală. Astfel, în prognoza evoluţiei instalaţiilor de producere a căldurii din resursa solară în S.U.A., ponderea aplicaţiilor în industrie (în scopuri tehnologice) se estimează la 60%, iar în domeniul casnic-edilitar la circa 40% [4]. Acest lucru impune şi la noi în ţară reevaluarea posibilităţilor de implementare a soluţiilor tehnologice în sectorul industrial, în sensul majorării ponderii capacităţilor instalate pentru cincinalul 1986—1990 şi etapele viitoare.

Pe baza realizării obiectivelor în perioada 1975—1980, a experienţei dobîndite şi a pregătirilor care sînt în curs, se apreciază o largă folosire a noilor surse de energie în aplicaţii termice în perioadele viitoare. Se scontează de asemenea pe o îmbunătăţire a indicatorilor economici ai soluţiilor de valorificare, ceea ce va permite extinderea în mai mare măsură a tehnologiilor de valorificare atît în sectorul casnic-edilitar cît şi în procesele tehnologice. Conceperea fluxurilor tehnologice caracteristice unor ramuri industriale consumatoare de energie termică se va afla în strînsă corelare cu folosirea noilor surse neconvenţionale ca surse energetice.

Sintetizînd datele corespunzătoare tehnologiilor de valorificare a surselor noi de energie în aplicaţii termice, au fost elaborate două variante :

— *varianta I* — ce corespunde prevederilor actuale în privinţa valorificării surselor noi, conform [7] şi datelor menţionate în tabelul 4, scenariul A ;

— *varianta II* — program alternativ, elaborat în vederea asigurării unui aport mai substanţial din partea energiei solare pentru substituirea unei cît mai mari părţi din necesarul de energie primară a ţării în etapele viitoare, bazat pe datele din tabelul 4, scenariul B.

Se remarcă faptul că pentru biogaz (din sectorul agricol şi urban), deşeuri menajere şi ape geotermale, posibilităţile de amenajare se saturează treptat spre a doua jumătate a intervalului de prognoză, astfel că la nivelul anului 2000 asistăm la saturarea practic a posibilităţilor de valorificare a potenţialului acestor resurse (potenţialul de valorificare devine egal cu potenţialul teoretic al resursei).

Acesta este şi motivul pentru care s-a propus şi o a doua variantă-alternativă, în care valorificarea potenţialului energiei solare directe să fie mult accelerată spre a doua jumătate a intervalului de prognoză.

Analiza tabelului 5 permite să relevăm faptul că în timp ce aplicarea în practică a variantei B ar conduce, în acelaşi interval de timp, la o creştere a aportului energetic de 1,95—2,0 ori mai mare, eforturile financiare cumulate în acelaşi interval de timp nu ar creşte decît de 1,25—1,3 ori, datorită în special perfecţionării tehnologiilor de valorificare şi creşterii productivităţii muncii în cea de-a doua jumătate a intervalului de prognoză. Se apreciază că această variantă se justifică şi poate fi realizată, datorită în special potenţialului energetic deosebit al resursei solare în condiţiile ţării noastre.

Tabelul 5

Aportul surselor noi de energie şi efortul financiar corespunzător pînă la orizontul de prognoză 2000—aplicaţii termice

Tipul resursei	Potenţial teoretic [mii tcc/an]	Aport energetic prin valorificare [mii tcc/an]-econ.			Efort financiar cumulat pe etape [mil. lei]		
		Varianta I					
		1985	1990	2000	1981—85	1986—90	1991—2000
Energie solară	20000	400	1593	4500	12265*)	30000*)	75000*)
Biogaz (agric.)	250	70	230	250	2300	7000	800
Biogaz (urban)	200	80	140	180	300	1445	580
Deşeuri urbane	200	20	150	200	435	800	700
Ape geotermale	700	400	650	700	377	764	500
$TOTAL_A$	21350	970	2763	5830	15677	40000	75500
		Varianta II					
Energie solară	20000	185	1580	10100	5700*)	30000*)	110000*)
Biogaz (agric.)	250	70	230	250	2300	7000	800
Biogaz (urban)	200	80	140	180	300	1455	580
Deşeuri urbane	200	20	150	200	435	800	700
Ape geotermale	700	400	650	700	377	764	500
$TOTAL_B$	21350	755	2750	11430	9112	40000	112500

*) exclusiv investiţiile în capacităţile de producere a captatoarelor solare.

3. Prognoza producției de energie electrică din surse noi, pînă la orizontul anului 2000 (2020)

Prognoza dezvoltării producției de energie electrică din surse noi este posibilă numai în contextul evaluării consumului de energie electrică și al posibilității de producție pe intervalul considerat. Contribuția diferitelor tehnologii la asigurarea necesarului economico-social de energie electrică este, pe de o parte, o chestiune de competiție tehnico-economică, iar pe de altă parte contribuția diferitelor tehnologii depinde în mare măsură de disponibilitatea diferitelor tipuri de resurse energetice primare. În condițiile în care disponibilitatea diferitelor resurse energetice primare este limitată, contribuția uneia sau alteia dintre resursele alternative este dependentă de capacitatea de utilizare a acestora.

Suplimentar restricțiilor specifice impuse de disponibilitatea resurselor clasice pentru producerea energiei electrice, în condițiile concrete ale României se adaugă cerința de renunțare — după anul 1990 — la importul de combustibili clasici (petrol și cărbune energetic), în vederea asigurării independenței energetice a țării. Chiar dacă disponibilitatea unor resurse clasice se reduce treptat, creșterea producției de energie electrică se va menține în următoarele decenii.

Tehnologiile în competiție pentru producerea energiei electrice în perioada de prognoză (1980—2020) vor fi: conversia termodinamică în centralele cu combustibili solizi, conversia hidroelectrică, nuclearoelectrică și solaroelectrică.

Pentru prognoza producției totale de energie electrică pe intervalul avut în vedere, s-a utilizat tehnica normativă — pentru prima parte a intervalului (1980—1990), pentru care Directivele Congresului al XII-lea al P.C.R au formulat repere precise —, peste acest orizont evoluția producției de energie electrică find extrapolată pe o curbă logistică constituită din înfășurătoarea contribuțiilor corespunzătoare fiecărei resurse considerate.

3.1. *Resurse primare clasice utilizate în R.S.R. pentru producerea energiei electrice*

Conversia termodinamică — centrale termoelectrice pe hidrocarburi (petrol și gaze naturale) și pe cărbune (în viitorul apropiat și pe șisturi) — asigură în prezent peste 80% din producția de energie electrică, din care mai mult de jumătate pe hidrocarburi.

Potențialul de producție termoelectrică pe hidrocarburi se diminuează treptat, astfel că după 1995 hidrocarburile se vor mai utiliza numai pentru asigurarea flăcării-suport. În aceste circumstanțe, conversia termodinamică se va baza în viitor exclusiv pe combustibili solizi — cărbuni și șisturi combustibile. Ținînd seama de rezervele certe de huilă, ligniți și șisturi, apreciate la circa 2 miliarde t c.c., precum și de necesarul de combustibili solizi pentru industrie (în special în siderurgie), conversia termodinamică bazată pe acest vector energetic primar se poate dezvolta într-un asemenea ritm încît producția maximă să ajungă la circa 70 TWh/an, la nivelul orizontului de prognoză. Acest lucru implică afectarea unei producții de circa 110—120 mil. tone echivalent lignit/an, care să asigure funcționarea instalațiilor de conversie și a exploatărilor miniere în regim nominal încă circa 30—50 ani, înainte de epuizarea rezervelor cunoscute astăzi.

Potențialul hidroenergetic utilizabil pentru producerea de energie electrică echivalează, conform evaluărilor actuale [5], cu o capacitate de producție de energie electrică de circa 40 TWh/an.

În ceea ce privește potențialul energeticii nucleare de fisiune, reprezentat de rezervele proprii de materii prime fisionabile și valorificabile în CNE cu reactori termici și apoi cu reactori rapizi (probabil după anul 2000), el va atinge nivelul maxim și se va plafona la circa 120 TWh/an energie electrică. Potențialul conversiei termonuclearo-electrice — în principiu nelimitat — nu va putea fi făcut operațional mai devreme de anul 2010, astfel că participarea acestei tehnologii la asigurarea cu energie electrică pentru dezvoltarea economico-socială a țării, în intervalul de prognoză considerat, nu va fi semnificativ.

3.2. *Utilizarea energiei solare pentru producerea energiei electrice*

Potențialul teoretic al resursei solare pentru producerea de energie electrică prin conversie termodinamică și directă poate fi evaluat considerînd un randament de conversie global egal cu 15% (randament maxim obtenabil la nivelul realizărilor tehnologice actuale). În această situație, potențialul teoretic corespunzător întregii suprafețe a țării este:

$$E_{electric\ solar} = 35{,}966 \times 10^9 \left[\frac{\text{t c.c.}}{\text{an}}\right] \times$$

$$\times 0{,}15 \cong 5{,}4 \times 10^9 \left[\frac{\text{t c.c.}}{\text{an}}\right], \qquad (6)$$

care, exprimat în kWh, reprezintă:

$$E_{electric\ solar} = \frac{5{,}4 \times 10^9 \left[\frac{\text{t c.c.}}{\text{an}}\right] \times 7 \times 10^6 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{t c.c.}}\right]}{860 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kWh}}\right]} =$$

$$= 43\,950 \times 10^9 \ [\text{kWh/an}]$$

Considerînd captarea și conversia energiei solare în scopul producerii energiei electrice pe numai 0,5% din suprafața țării*), aceasta ar putea asigura o capacitate de producție de circa 80 TWh/an — adică o valoare apropiată producției de energie electrică a României la nivelul anului 1980.

De menționat că tehnologiile de valorificare a potențialului de conversie solaroelectrică sînt încă departe de maturitate și în orice caz necompetitive astăzi din punct de vedere economic cu soluțiile clasice. Potențialul resursei justifică însă pe deplin eforturile întreprinse încă de pe acum în domeniul cercetării și dezvoltării tehnologice în electroenergetica solară. Trecerea la instalații industriale de mare capacitate de producere a energiei electrice este apreciată a avea loc numai după anul 1990 [6], [7].

3.3. *Potențialul energetic eolian al României*

Potențialul eolian tehnic amenajabil reprezintă o fracțiune din cel menționat anterior, în tabelul 3, fiind proporțional cu energia maselor de aer în mișcare pînă la o înălțime de circa 200 m față de sol. Această înălțime a fost aleasă în ipoteza că aerogeneratoarele prezumtiv realizabile (din motive de limitări tehnologice) nu vor avea diametrul palelor mai mare de această valoare. Se avansează totuși de pe acum ideea unor aerogeneratoare instalate pe culoare de acumulare a energiei eoliene [8], care pot recupera o fracțiune mai mare din potențialul teoretic al resursei. În ipoteza utilizării unor aerogeneratoare de 150 m diametru, potențialul tehnic amenajabil al țării noastre este [9]:

$$E_{eolian} = 1{,}730 \times 10^6 \left[\frac{\text{t c.c.}}{\text{an}}\right] \times \frac{\rho_0 + \rho_{150}}{\rho_0 + \rho_{11000}} \times \frac{H_{150}}{H_{atm}} \tag{7}$$

ținînd seama că:

$\rho_{150} = \rho_0$ $\qquad$ $H_{150} = 150$ m

$\rho_{11000} = 0{,}24\ \rho_0$ $\qquad$ $H_{atm} = 11000$ m

ρ_0 — densitatea aerului la nivelul mării, va rezulta:

$$E_{eolian} = 1{,}730 \times 10^6 \left[\frac{\text{t c.c.}}{\text{an}}\right] \times \frac{2\,\rho_0}{1{,}24\,\rho_0} \times \frac{150}{11000} = 3{,}8 \times 10^7 \left[\frac{\text{t c.c.}}{\text{an}}\right] \tag{8}$$

Acest potențial ar putea fi convertit în energie electrică sau mecanică, în instalații cu un randament global de 40%, și în acest caz s-ar obține:

$$E_{eolian\ util} = \frac{3{,}8 \times 10^7 \left[\frac{\text{t c.c.}}{\text{an}}\right] \times 0{,}4 \times 7 \times 10^6 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{t c.c.}}\right]}{860 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kWh}}\right]} \simeq$$

$$\simeq 125\ [\text{TWh/an}] \tag{9}$$

Această valoare se corelează cu evaluările de potențial eolian montan al R.S.R. în ipoteza că s-ar instala aerogeneratoare pe toți munții, cu o densitate de două unități pe km liniar de creastă și, respectiv, două unități pe fiecare km² de versant, evaluări conform cărora potențialul eolian montan reprezintă echivalentul a 60—70 TWh/an [10].

Acest potențial (reprezentînd 50—60% din potențialul eolian tehnic amenajabil pentru întreg teritoriul României), concentrat în zona montană, nu este deloc surprinzător ca mărime, întrucît această zonă contează ca un rezervor natural de energie.

3.4. *Potențialul energetic al valurilor în condițiile litoralului românesc*

Pe baza estimărilor făcute în prezent în diferite lucrări [11], potențialul tehnic amenajabil al valurilor de pe litoralul românesc al Mării Negre a fost apreciat, la nivelul cunoștințelor actuale, la circa 4 TWh/an — ceea ce reprezintă 10% din potențialul tehnic amenajabil al resursei hidroenergetice a României.

Se apreciază că în ceea ce privește caracteristicile dinamice ale valurilor din Marea Neagră, acestea sînt relativ modeste, fiind de circa 8—10 ori mai mici decît indicii energetici analogi pentru alte zone geografice de pe glob (Marea Japoniei, Marea Nordului etc.), în care se consideră deja economică utilizarea energiei valurilor. Reluînd datele furnizate de [1], unde se estimează ca potențial amenajabil circa 16% din potențialul teoretic al resursei, și corectînd rezultatele obținute pentru datele medii ale oceanului mondial cu datele Mării Negre, se obține:

$$E_{valuri} = 130 \times 10^6 \frac{\text{t c.c.}}{\text{an}} \times 0{,}16 \times 0{,}1 \cong$$

$$\cong 2{,}1 \times 10^6 \left[\frac{\text{t c.c.}}{\text{an}}\right] \tag{10}$$

Acest potențial ar putea fi convertit în energie electrică sau mecanică, cu un randament global de conversie egal cu 25%, și în

*) Ținînd seama de raportul dintre suprafața totală ocupată de teren (S_{tot}) și suprafața activă a oglinzilor (S_{activ}) de circa 4, rezultă o suprafață activă de circa 292 km².

acest caz s-ar obține :

$$E_{el.\ mec.\ valuri} = \frac{2{,}1\times10^{6}\left[\frac{\text{t c.c.}}{\text{an}}\right]\times 0{,}25\times 7\times10^{6}\left[\frac{\text{kcal}}{\text{t c.c.}}\right]}{860\left[\frac{\text{kcal}}{\text{kWh}}\right]} \cong$$

$$\cong 4{,}3\ [\text{TWh/an}], \qquad (11)$$

cifră care concordă satisfăcător cu evaluările proprii de potențial [11].

3.5. Scenarii posibile ale dezvoltării electroenergeticii solare în România, pînă la nivelul anului 2020

După cum s-a menționat anterior, pentru prognoza producției totale de energie electrică în România s-a folosit o tehnică combinată normativ-explorativă. Pentru partea a doua a intervalului de prognoză (1990—2020), extrapolările au ținut seama de următoarele tendințe previzibile :

— Concomitent cu reducerea aportului hidrocarburilor (petrol și gaze) la satisfacerea necesarului de energie a țării, va crește necesarul de energie electrică — singura formă de energie susceptibilă să asigure suportul energetic unor tehnologii care anterior erau bazate pe hidrocarburi. În acest fel se explică faptul că, deși consumul total de energie primară va crește lent pe intervalul de prognoză, consumul de energie electrică va crește mai rapid, astfel încît ponderea energiei electrice în consumul total de resurse va depăși probabil 30% după anul 2020. Această tendință se regăsește în evoluția prognozată pentru situația la scară mondială [1].

— Creșterea relativ rapidă a producției de energie electrică este un mijloc de punere în valoare a importantelor rezerve de cărbune inferior și șisturi combustibile, care vor avea o contribuție majoră la asigurarea *independenței energetice* a țării. Această creștere va fi caracterizată în perioada 1980—1990 de ritmuri medii anuale de circa 5%, ritm ce se va menține pînă spre mijlocul primului deceniu al secolului viitor.

— În primul deceniu al secolului viitor, ritmul de creștere al producției de energie electrică va începe să se diminueze, urmare a atingerii nivelului de saturație la producția de energie electrică din principalele resurse clasice, corelat cu atingerea unui înalt nivel de dezvoltare economică ce va putea asigura dezvoltarea economico-socială în continuare, cu consumuri energetice (inclusiv de energie electrică) din ce în ce mai reduse.

Față de tendințele menționate anterior, curba logistică de extrapolare a producției de energie electrică în România va prezenta — așa cum se poate constata din figurile 1 și 2 — o inflexiune spre saturație situată spre mijlocul primului deceniu al secolului XXI. Astfel, la sfîrșitul intervalului de prognoză, producția

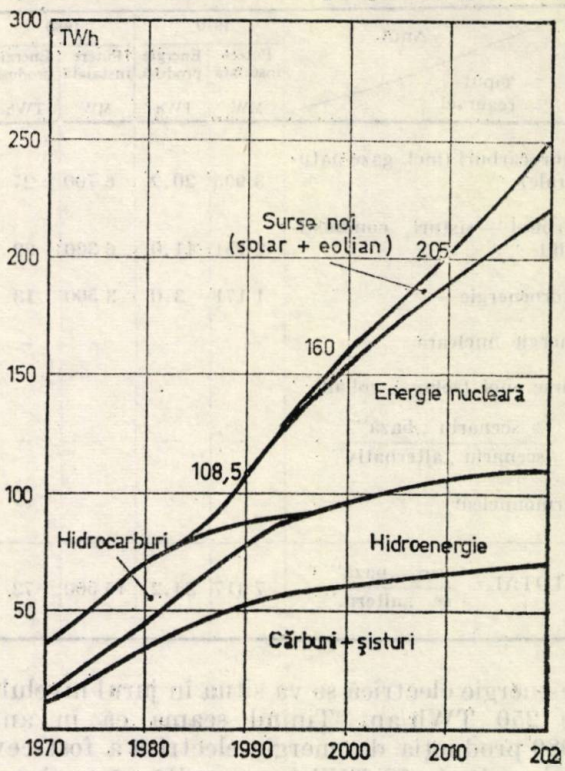


Fig. 1. Producția de energie electrică — prognoza ponderii diferitelor tipuri de resurse în perioada 1980—2020. Scenariul „de bază".

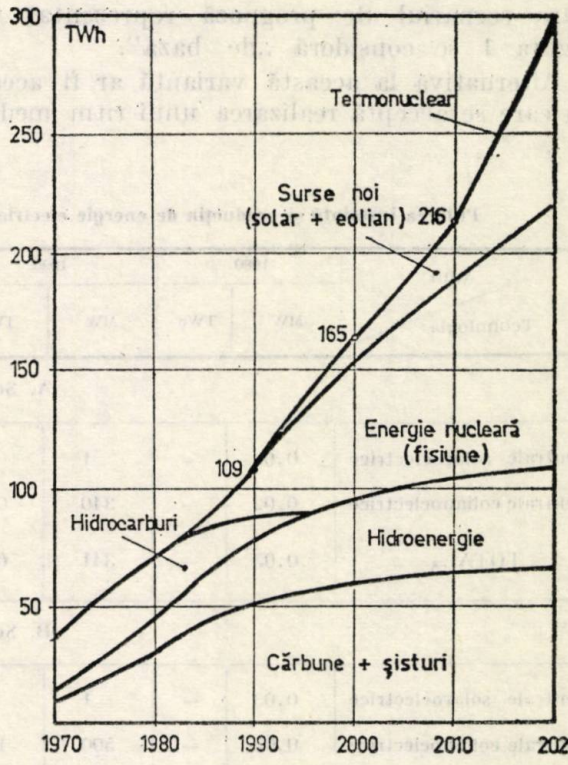


Fig. 2. Producția de energie electrică — prognoza ponderii diferitelor tipuri de resurse în perioada 1980—2020. Scenariul „alternativ".

Tabelul 6

Puterea instalată și producția de energie electrică, pe tipuri de resurse (prognoză 1980—2020)

Tipul resursei \ Anul	1970		1980		1990		2000		2010		2020	
	Putere instalată MW	Energie produsă TWh	Putere instalată MW	Energie produsă TWh	Putere instalată MW	Energie produsă TWh	Putere instalată MW	Energie produsă TWh	Putere instalată MW	Energie produsă TWh	Putere instalată MW	Energie produsă TWh
Hidrocarburi (incl. gaze naturale)	3 995	20,2	6 700	27	3 500	10	—	—	—	—	—	—
Cărbuni + șisturi combustibile	2 151	11,0	6 300	32	11 500	54	13 000	58	14 500	66	15 000	70
Hidroenergie	1 171	3,0	3 500	13	9 600	24	15 000	39	15 500	40	15 500	40
Energie nucleară	—	—	—	—	3 960	20	10 000	58	15 000	85	20 000	110—120
Surse noi (solar + eolian)												
scenariu „bază"	—	—	—	—	340	0,5	2 000	5	5 500	14	10 500	26—30
scenariu „alternativ"					500	1	4 000	10	10 000	25	30 000	66—70
Termonuclear	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 000	4
TOTAL: sc. „bază"	7 317	34,2	16 500	72	28 900	108,5	40 000	160	50 500	205	62 000	250
TOTAL: sc. „altern."					29 060	109,0	42 000	165	55 000	216	81 000	300

de energie electrică se va situa în jurul nivelului de 250 TWh/an. Ținînd seama că în anul 1980 producția de energie electrică a fost ceva mai mult de 72 TWh/an, rezultă că pe intervalul considerat (1980—2020) ritmul mediu anual de creștere este de 3,16% — ritm pentru care scenariul de prognoză reprezentat în figura 1 se consideră „de bază".

Alternativa la această variantă ar fi aceea în care se acceptă realizarea unui ritm mediu anual de creștere a producției de energie electrică de circa 3,6% pe toată durata intervalului (1980—2020), scontîndu-se astfel, la orizontul de prognoză propus, o producție egală cu circa 300 TWh/an — fig. 2, scenariul „alternativ".

Contribuția necesară a electroenergeticii solare, în cele două scenarii dezvoltate, la nivelul anului 2020, se poate determina ținînd seama de saturația resurselor convenționale clasice de energie primară și, așa cum rezultă din

Tabelul 7

Puterea instalată și producția de energie electrică din energia solară și eoliană (prognoză 1980—2020)

Tehnologia \ Anul	1980		1990		2000		2010		2020	
	MW	TWh	MW	TWh	MW	TWh	MW	TWh	MW	TWh
A. Scenariul „de bază"										
Centrale solaroelectrice	0,03	—	1	—	100	0,15	1000	2,0	4000	7,0
Centrale eolianoelectrice	0,02	—	340	0,5	2000	5,0	4500	12,0	6500	19,0
$TOTAL_A$	0,05	—	341	0,5	2100	5,15	5500	14,0	10500	26,0
B. Scenariul „alternativ"										
Centrale solaroelectrice	0,03	—	1	—	100	0,15	1000	2,0	4000	7,0
Centrale eolianoelectrice	0,05	—	500	1,0	3900	10,0	9000	23,0	26000	59—63
$TOTAL_B$	0,08	—	501	1,0	4000	10,15	10000	25,0	30000	66—70

figurile 1 și 2, precum și din tabelul 6, aceasta va reprezenta :

— în scenariul „de bază" 26—30 TWh/an
— în scenariul „alternativ" 66—70 TWh/an

Examinînd tabelul 7, se constată următoarele :

— Pătrunderea electroenergeticii solare în producția de energie electrică devine semnificativă încă din anul 1990, cînd vor fi instalați 350—500 MW în principal sub formă de generatoare eoliene. Conversia eoliano-electrică va deține ponderea principală în producția de energie electrică din resursa solară în ambele variante de prognoză, dar mai ales în varianta „alternativă", în care se preconizează utilizarea în proporție de 50—60% a potențialului amenajabil al resursei, la nivelul anului 2020. Acest lucru este posibil datorită faptului că tehnologia de conversie eoliano-electrică este foarte aproape de maturitate tehnică, iar sistemul este principial mai competitiv datorită duratelor mari de utilizare a puterii instalate (2000—5000 ore/an).

— Condițiile geografice specifice ale României nu pot asigura centralelor solaroelectrice decît 1500—2000 ore/an durată de insolație. În afară de aceasta, tehnologia corespunzătoare CSE cu concentrare și ciclu de înaltă temperatură, cît și pe filiera „fotovoltaică", necesită încă punerea la punct a unor echipamente și sisteme specifice relativ ancombrante, în special în ceea ce privește sistemele de acumulare. Conform prognozelor la scară mondială, cercetările necesare în domeniu vor mai dura încă cel puțin 10—15 ani de acum înainte, motiv pentru care apreciem că centralele solaroelectrice nu vor interveni semnificativ în balanța de energie decît spre sfîrșitul acestui secol.

— După orizontul 2020, cînd, în afară de resursele clasice, asistăm la o saturare chiar în valorificarea potențialului eolian, rămîn disponibile energia solară propriu-zisă și energia termonucleară pentru acoperirea creșterilor în necesarul de energie electrică impus de dezvoltarea economico-socială a țării.

Concluzii

— Evaluarea potențialului amenajabil al resursei solare în România, în aplicații termice și pentru producerea energiei electrice la nivelul orizontului de prognoză, indică valoarea de circa 38—40 mil. t c.c./an — aceasta trebuind să fie interpretată drept capacitate potențială de obținere a unor economii de energie primară (prin substituție).

— În vederea stabilirii modului de atingere a obiectivelor vizînd valorificarea energiei solare în aplicații termice pe perioada de prognoză (1980—2000), a fost evaluată capacitatea de utilizare a acestei resurse pornind de la posibilitățile de realizare la scară industrială a captatoarelor solare. În acest sens, au fost formulate două scenarii care, prin aplicare, ar putea conduce, la nivelul anului 2000, la economii (prin substituție) de 4, 5, respectiv 10 mil. t c.c./an.

— Sinteza datelor privind valorificarea în aplicații termice a surselor noi de energie este prezentată în două variante-scenarii, în vederea asigurării unui aport cît mai substanțial din partea energiei solare. Aplicarea în practică a scenariului B ar conduce, în același interval de timp, la o creștere a aportului energetic de 1,95—2,0 ori, în timp ce eforturile financiare cumulate nu ar crește decît de 1,25—1,3 ori în comparație cu varianta-scenariu A.

— Împrăștierea în teritoriu a resurselor și energia specifică mică pe unitate de suprafață determină ca instalațiile de valorificare în aplicații termice a noilor surse de energie să fie diseminate pe întreg teritoriul țării. Acest lucru va face ca soluțiile tehnologice să fie economice în aplicații cu caracter necentralizat, pentru alimentarea unor consumatori locali, corespunzător nivelului și caracteristicilor energiei livrate.

— În ceea ce privește potențialul teoretic al resursei solare pentru producerea de energie electrică prin conversie termodinamică și directă, în ipoteza captării și conversiei energiei solare pe 0,5% din suprafața țării (circa 1200 km²), aceasta ar putea asigura o producție de circa 80 TWh/an. Potențialul resursei justifică pe deplin eforturile ce se întreprind în domeniul cercetării și dezvoltării tehnologice în electroenergetica solară.

— Evaluările de potențial eolian al României — în scopul producerii energiei electrice — indică echivalentul a 60—70 TWh/an potențial amenajabil, ceea ce impune acordarea unei atenții deosebite în vederea valorificării acestuia în viitor.

— În ceea ce privește prognoza producției de energie electrică din surse noi, orizontul de prognoză a fost prelungit pînă în anul 2020 și a fost corelată cu evoluția producției de energie electrică din resurse primare clasice. Scenariile și-au propus atingerea unor producții de energie electrică de 250, respectiv 300 TWh/an în anul 2020, ceea ce impune un aport al electroenergeticii solare (solar propriu-zis și eolian) de 26—30 TWh/an (scenariul „de bază"), respectiv 66—70 TWh/an (scenariul „alternativ").

— Tabelul 6, precum și figurile 1 și 2 prezintă sintetic cele două scenarii de prognoză. Transpunerea în fapt a acestora ar conduce la o structură a ponderilor resurselor de energie conform cu tabelul 8.

Tabelul 8

Ponderea resurselor de energie în producția de energie electrică a României (1980–2020), în %

Tipul resursei \ Anul	1970	1980	1990	2000	2010	2020
	Varianta „de bază"					
Cărbune, șisturi	32,16	44,44	49,77	36,25	32,20	28,0
Hidroenergie	8,77	18,05	22,11	24,37	19,51	16,0
Hidrocarburi	59,07	37,51	9,22	—	—	—
Energie nucleară	—	—	18,43	36,25	41,46	44,0
Solar + eolian	—	—	0,47	3,13	6,83	10,4
Termonuclear	—	—	—	—	—	1,6
	Varianta „alternativă"					
Cărbune, șisturi	32,16	44,44	49,54	35,15	30,55	23,3
Hidroenergie	8,77	18,05	22,02	23,63	18,53	13,4
Hidrocarburi	59,07	37,51	9,17	—	—	—
Energie nucleară	—	—	18,35	35,15	39,53	40,0
Solar + eolian	—	—	0,92	6,07	11,57	22,0
Termonuclear	—	—	—	—	—	1,3

Tabelul 9

Aportul energetic global al surselor noi în balanța de energie primară a României (prognoză 1980–2020)

	Anul	1985	1990	2000	2010	2020
Creștere medie anuală a consumului de energie primară, %		← 2,7 ÷ 3,4 →	← 2,4*) →	← 2,1*) →	← 1,9*) →	
Consum de energie primară în R.S.R., $\times 10^6$ t c.c.		111–114,8	127–136	160–172	198–222	239–270
	A. Scenariul „de bază", $\times 10^3$ tc.c./an					
Aplicații termice	Solar	400	1593	4500	5500	7500
	Geotermal	400	650	700	700	700
	Biogaz (agric.)	70	230	250	250	250
	Biogaz (urban)	80	140	180	190	200
	Deșeuri urbane	20	150	200	210	220
Energie electrică (solar + eolian)		8	228,5	1400	3700	7000
TOTAL Scenariu „bază"		978	2981,5	7230	10550	15870
Pondere surse noi în balanța energetică, %		0,85–0,88	2,2–2,36	4,2–4,5	4,74–5,34	5,91–6,65
	B. Scenariul „alternativ", $\times 10^3$t c.c./an					
Aplicații termice	Solar	185	1580	10100	13000	15000
	Geotermal	400	650	700	700	700
	Biogaz (agric.)	70	230	250	250	250
	Biogaz (urban)	80	140	180	190	200
	Deșeuri urbane	20	150	200	210	220
Energie electrică (solar + eolian)		8	336	2700	6750	20100
TOTAL Scenariu „alternativ"		763	3086	17216	21100	36470
Pondere surse noi în balanța energetică %		0,66–0,69	2,27–2,43	10,0–10,7	9,5–10,6	13,6–15,3

*) Valori considerate ipoteză de lucru.

— Ținînd seama de scenariile descrise privind evoluția valorificării surselor noi de energie, atît în cadrul unor soluții cu aplicații termice, cît și în instalații pentru producerea energiei electrice, contribuția surselor noi în balanța de combustibil primar a României este prezentată în tabelul 9.

— Subliniem faptul că dezvoltarea electroenergeticii solare (solar + eolian) nu este condiționată decît de ritmul în care cercetarea și dezvoltarea tehnologică specifică vor aduce la maturitate tehnică soluțiile tehnologice necesare și apoi de capacitatea economiei naționale de a furniza echipamentele și de a asigura forța de muncă. Deosebit de importantă apare aici noțiunea de *independență energetică*, în sensul că aceste tehnologii nu reclamă în exploatare combustibili clasici, în special hidrocarburi, ci ele prelucrează o resursă practic inepuizabilă, gratuită.

Bibliografie

[1] * * * *Perspectives énergétiques mondiales à l'horizon 2020.* Rapport de la Commission de Préservation de la Conférence Mondiale de l'Energie. Ed. Techniques et Economiques, Paris, 1979.

[2] L ö f, G.O.G. și D u f f e, J.A. *World Distribution of Solar Energy.* În : Solar Energy, 10, nr. 1, 1966, 27—37.

[3] * * * *National Energy Plan.* A Report to the U.S. Congress. U.S. Department of Energy. U.S. Government Printing Office (1979), Washington, D.C.

[4] * * * *Hearings Before the Committee on Banking, Housing and Urban Affairs* (United States Senate), July 25—27, 1979. U.S. Government Printing Office (1979), Washington, D.C.

[5] * * * *Dezvoltarea sistemului energetic național.* Sinteza studiilor efectuate de Ministerul Energiei Electrice. I.S.P.E.—M.E.E., București, ianuarie 1980.

[6] W e i n g a r t, J.M. *L'énergie solaire, base d'un système énergétique.* În : Revue de l'Energie 30, nr. 313, 1979, p. 293—302.

[7] * * * *Programul de cercetare, dezvoltare și valorificare a surselor noi de energie în cincinalul 1981—1985, orientările principale pe perioada 1986—1990 și în perspectiva anului 2000.* CNST, București, iunie 1980.

[8] Q u a r e s h i, S. *Large Wind Turbine Generators (WTG) for Electrical Utility Applications.* 11th World Energy Conference, vol. 1A, p. 550—568, Munich, 1980.

[9] P a v e l, D. *Valorificarea energiilor eoliene.* În : Hidrotehnica, 19, nr. 5, 1974, p. 197—203.

[10] * * * *Utilizarea forței vîntului în scopuri energetice.* Lucrarea 5685/1979, ICEMENERG, București.

[11] T o m e s c u, C. și E n a c h e, M. *Prognoza valorificării energiei valurilor în R.S.R.* În : Energetica, 28, nr. 5—6, 1980, p. 205—207.

[12] * * * *Analiza comparativă a tehnologiilor de valorificare a surselor neconvenționale de energie ținînd seama de condițiile naturale ale R.S.R.* Lucrarea 5664/1979, ICEMENERG, București.

Corelații între parametrii termici, hidraulici și constructivi ai cavității receptoare a unei centrale solare cu cîmp de heliostate și turn

Vl. Fara, D. Cecan și R. Grigorescu*)

În conjunctura energetică actuală, energia solară a devenit o sursă importantă de energie. Utilizarea potențialului solar permite atît obținerea unor parametri termici scăzuți în cazul centralelor solare cu colectoare distribuite (indicate pentru puteri de 100—1000 kW_e), precum și obținerea unor parametri termici înalți, în cazul centralelor solare cu cîmp de heliostate și turn — CSHT (care prezintă interes pentru puteri ce depășesc 1 MW_e) [1]—[3].

Schimbul energetic într-o CSHT se obține între radiația solară incidentă pe suprafața heliostatelor (date de intrare) și produsul final, care poate fi căldura transportată de agentul termic sau energia electrică obținută (date de ieșire) [4]—[5]. O problemă esențială a cercetării pentru acest tip de centrale solare (abordată de lucrarea de față) o constituie analiza energetică pe traseul specific de la intrarea în CSHT și pînă la ieșirea din cavitatea receptoare (CR), ceea ce se poate realiza prin secționarea traseului energetic în două zone :

— prima zonă cuprinde fluxul energetic între punctul de intrare a radiației solare în CSHT și punctul de intrare în CR, inclusiv fluxul de pierderi convective către mediul ambiant;

— a doua zonă cuprinde fluxul energetic între radiația solară concentrată la nivelul deschiderii CR și agentul de lucru la ieșirea din CR.

1. Fluxul termic util la nivelul deschiderii cavității receptoare

Energia radiației solare pentru o captare cvasinormală de către suprafața heliostatelor are forma :

$$Q_{rad} = h \cdot S_0 \cdot I, \qquad (1)$$

în care I[W/m^2] reprezintă intensitatea radiației solare directe, S_0[m^2] suprafața de reflexie a unui heliostat, iar h numărul heliostatelor. În funcție de tipul calculelor : de dimensionare, de verificare la regimuri extreme, de stabilire a regimului de putere, I va fi intensitatea medie zilnică — maximă, minimă, medie — pe anumite perioade din zi, din an etc.

O primă categorie de pierderi care privesc fluxul radiației solare la nivelul heliostatelor

*) Autorii lucrează la Laboratorul de energie solară din cadrul Catedrei de fizică, Institutul politehnic București.

sînt de natură geometrică și depind de calitatea materialului reflectant utilizat. Astfel, datorită variației suprafeței efective de captare, precum și poziției diferite ocupate de heliostate în cadrul cîmpului, apar pierderi geometrice ce pot fi exprimate prin doi factori de formă, și anume:

c_{co} — evazarea în plan orizontal;

c_{cv} — evazarea în plan vertical.

Caracteristicile materialului reflectant sînt reprezentate de factorul de reflexie mediat pe domeniul unghiurilor de incidență considerate pentru o zi, pentru toate heliostatele cîmpului. Este introdus, astfel, $\bar{\rho}$ — factorul mediu de reflexie al cîmpului de oglinzi.

În aceste condiții, energia reflectată de cîmpul de heliostate se poate pune sub forma:

$$Q_{refl} = \bar{\rho} \cdot c_{co} \cdot c_{cv} \cdot h \cdot S_0 \cdot I \qquad (2)$$

O altă clasă de pierderi este înregistrată de radiația reflectată pe parcursul heliostate-deschidere CR. Acestea se datorează formei deschiderii cavității, fenomenului de difuzie a radiației solare reflectate, preciziei de orientare și sînt exprimate de η_{rc} — eficiența radiației solare concentrate.

Rezultă că energia disponibilă la nivelul deschiderii CR va fi:

$$Q_{cav} = \eta_{rc} \bar{\rho} \, c_{co} \, c_{cv} \, h \, S_0 \, I \qquad (3)$$

În afară de pierderile prin absorbție în mediul străbătut de radiația reflectată, care sînt practic neglijabile, trebuie să se țină seamă de pierderile convective către aerul care spală ecranele din CR, exprimate de relația:

$$Q_a = \alpha_a \, S_i (T_e - T_a), \qquad (4)$$

unde:

α_a este coeficientul de convecție liberă al aerului;

S_i — suprafața interioară a ecranelor CR;

T_e — temperatura medie pe fața interioară a pereților, $T_e = \frac{1}{2}(T_{e_0} + T_{e_F})$;

indicele 0 indică intrarea în CR, iar indicele F ieșirea din CR.

Datorită absorbanței ecranelor cavității receptoare, diferită de cea a unui corp negru perfect, ținînd seamă de radiația proprie a cavității, precum și de rezistențele suplimentare provocate de conducția prin materialul ecranului și convecția în agentul termic al CR, energia termică utilă la ieșirea din CR va fi afectată de un factor subunitar β:

$$Q_u = \beta \cdot Q_{desch}, \qquad (5)$$

unde Q_{desch} reprezintă energia utilă la nivelul deschiderii CR, fiind dată de expresia:

$$Q_{desch} = \eta_{rc} \bar{\rho} \, I \, c_{co} \, c_{cv} \, h \, S_0 - \alpha_a \, S_i (T_e - T_a) \qquad (6)$$

Pentru calculul concret al lui Q_a trebuie aleasă configurația geometrică a CR, trebuie măsurat coeficientul de convecție α_c, T_e și T_a fiind determinați printr-un procedeu iterativ.

Rezultatele analizei efectuate sînt prezentate sintetic în tabelul 1.

2. Corelația dintre parametrii termici, hidraulici și constructivi, obținută din expresiile fluxurilor energetice la nivelul CR

Cavitatea receptoare constă dintr-o serie de ecrane de radiație (legate în serie sau paralel) așezate într-o configurație plană deschisă, sau cel mai frecvent semideschisă, avînd astfel o suprafață interioară, S_i, mai mare ca cea a deschiderii, S_d. În timp ce suprafața interioară, S_i, este expusă radiației reflectate de cîmpul de heliostate ce străbate deschiderea S_d, suprafața exterioară este protejată contra pierderilor

Tabelul 1

Categoria de pierderi	Natura pierderii	Factorul caracteristic	Fluxul de pierderi
Pierderi geometrice	Variația suprafeței efective de captare, poziția diferită în cadrul cîmpului de heliostate	$c_{co} c_{cv}$	Q_g
Pierderi de material reflectant	Absorbția la nivelul materialului reflectant al heliostatelor	$\bar{\rho}$	Q_ρ
Pierderi specifice efectului de concentrare a radiației	Deschiderea limitată a cavității receptoare, difuzia radiației reflectate, precizia de orientare a heliostatelor	η_{rc}	Q_{rc}
Pierderi convective în atmosferă	Convecția către atmosferă	α_a	Q_a
Pierderi proprii ale CR	Emisivitatea CR, radiație proprie, rezistențe termice de natură conductivă și convectivă specifice cavității	β	Q_p

de căldură printr-o izolaţie corespunzătoare. Configuraţiile semideschise realizează diminuarea pierderilor termice prin convecţie către aer, Q_a, prin micşorarea lui α_a, precum şi a celor prin radiaţie de la pereţii interiori către exterior prin deschidere (ceea ce a atras şi denumirea de „cavitate").

Pentru a analiza fluxurile energetice, este suficientă considerarea procesului care are loc într-o ţeavă a unui ecran prin care trece $\dot{G}/n$ din debitul de agent termic, n fiind numărul de ţevi care preia debitul $\dot{G}$ (fig. 1).

absorbţie ($a_d = 1$); rezultă:

$$T_h = \sqrt[4]{\frac{Q_{desch}}{\sigma\, Sd}} \tag{8}$$

Considerăm temperatura T_h aceeaşi pentru cele n ţevi ale unui ecran prin care curge debitul $\dot{G}$.

Analiza propusă porneşte de la fluxurile elementare dQ primite de fluidul de lucru pe lungimea dx, urmînd integrarea acestora pe

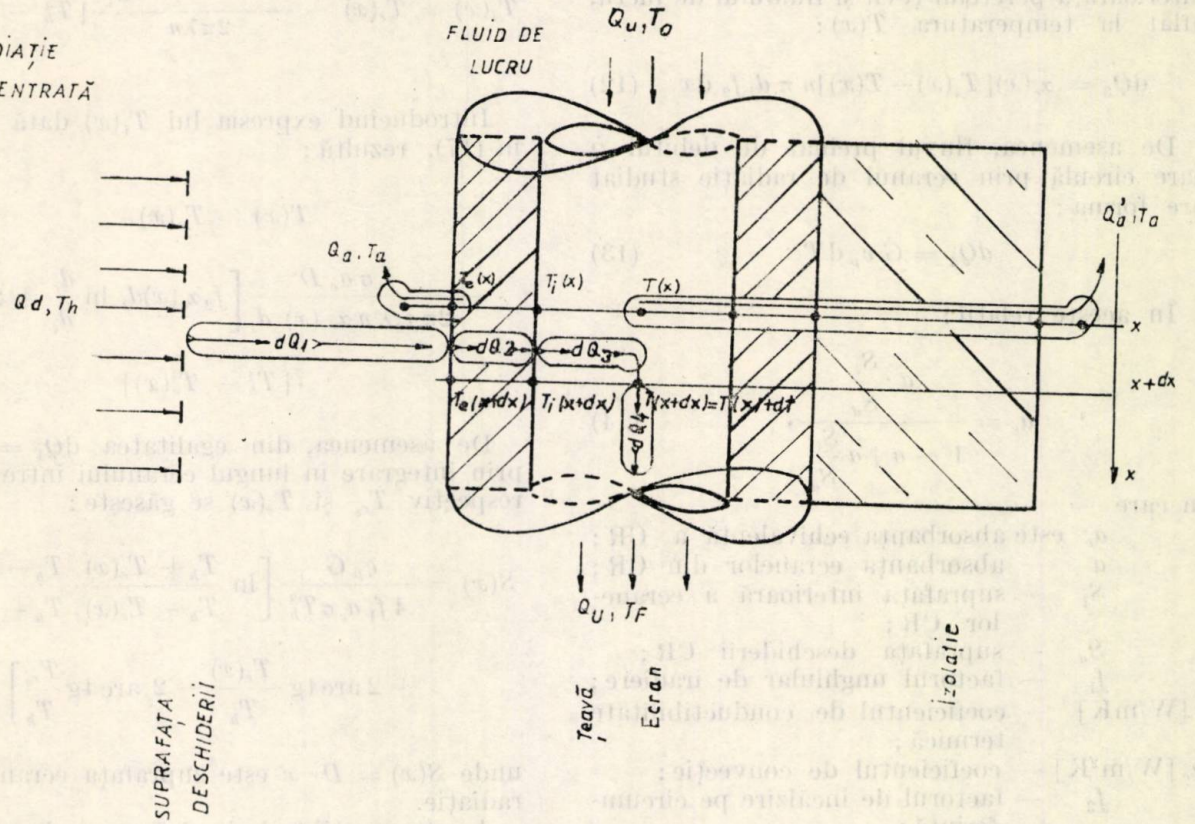


Fig. 1. Fluxurile energetice elementare pe suprafaţa $D \cdot dx$.

Fluxul termic preluat de aerul care spală interiorul CR, Q_a, a fost luat în consideraţie în expresia lui Q_{desch} (relaţiile (4), (6)), iar fluxul termic care străbate izolaţia şi este preluat de aerul exterior este practic neglijabil, $Q_a' \simeq 0$.

Pentru studiul transferului radiativ se propune înlocuirea deschiderii CR printr-un „corp negru" (perfect absorbant al radiaţiei concentrate), căruia i se asociază o temperatură echivalentă a radiaţiei concentrate a cîmpului de heliostate, T_h. Între deschidere şi ecrane se realizează astfel un schimb de căldură prin radiaţie modelat de legea Stefan-Boltzmann:

$$Q_{desch} = a_d\, \sigma\, T_h^4\, Sd, \tag{7}$$

în care: $\sigma = 5{,}76 \cdot 10^{-8}$ W/m^{2}K^4 este constanta lui Stefan-Boltzmann, iar a_d — coeficientul de

lungimea L a ecranului analizat. În acest fel modelul urmăreşte creşterea temperaturii fluidului şi este sensibil la modificarea transferurilor termice cu variaţiile de temperatură în lungul ecranului.

Notînd cu D — lăţimea activă a ecranului de radiaţie, cu d_e — diametrul exterior al ţevii, iar cu p — pasul dintre ţevi, vom avea:

$$D = nd_e + (n-1)p \tag{9}$$

Funcţie de tipul procesului de transfer, vom putea scrie expresiile fluxului elementar dQ, ce cade pe suprafaţa elementară Ddx;

— fluxul de energie termică schimbat radiativ între deschiderea aflată la temperatura T_h şi ecranul aflat la temperatura $T_e(x)$:

$$dQ_1 = a_c \sigma [T_h^4 - T_e^4(x)] D \cdot f_1 \cdot \mathrm{d}x \tag{10}$$

— fluxul de energie termică ce învinge rezistența peretelui unei țevi a ecranului, între suprafața exterioară și cea interioară, aflată la temperaturi $T_i(x)$:

$$dQ_2 = \frac{2\pi\lambda[T_e(x) - T_i(x)]}{\ln\frac{d_e}{d_i}} n \cdot dx \qquad (11)$$

— fluxul de energie termică ce învinge rezistența termică de trecere dintre suprafața interioară a peretelui țevii și fluidului de lucru, aflat la temperatura $T(x)$:

$$dQ_3 = \alpha_c(x)[T_i(x) - T(x)] n \pi d_i f_2 \, dx \qquad (12)$$

De asemenea, fluxul preluat de debitul $\dot{G}$ care circulă prin ecranul de radiație studiat are forma:

$$dQ_4 = \dot{G} c_p \, dT \qquad (13)$$

În aceste relații:

$$a_c = \frac{a \cdot \frac{S_i}{S_d}}{1 - a + a\frac{S_i}{S_d}}, \qquad (14)$$

în care

a_c este absorbanța echivalentă a CR;
a — absorbanța ecranelor din CR;
S_i — suprafața interioară a ecranelor CR;
S_d — suprafața deschiderii CR;
f_1 — factorul unghiular de iradiere;
λ[W/mK] — coeficientul de conductibilitate termică;
α_c [W/m²K] — coeficientul de convecție;
f_2 — factorul de încălzire pe circumferință;
C_p[J/kg K] — căldura specifică la presiune constantă a agentului termic.

Factorul f_1 este funcție de poziția relativă a normalei la ecran față de direcția radiației incidente și de construcția ecranului (p, d_e).

Sînt satisfăcute relațiile:

$$S_d = \sum_{k=1}^{N} f_1^k S_i^k \qquad S_i = \sum_{k=1}^{N} S_i^k, \qquad (15)$$

unde N este numărul de ecrane ale CR.

Factorul f_2 este funcție de construcția ecranului (p, d_e) și exprimă ce lungime din circumferința țevii capătă temperatura $T_e(x)$ (care va fi deci activă în transferul termic).

Se remarcă faptul că putem scrie:

$$dQ_1 = dQ_2 = dQ_3 = dQ_4 = dQ \qquad (16)$$

Din egalitatea $dQ_2 = dQ_3$, se obține:

$$T(x) = T_i(x) - \frac{2\lambda}{\alpha_c(x) d_i f_2 \ln\frac{d_e}{d_i}} [T_e(x) - T_i(x)] \qquad (17)$$

Din egalitatea: $dQ_2 = dQ_1$ vom avea:

$$T_i(x) = T_e(x) - \frac{f_i \cdot \sigma \cdot a_c \cdot D \cdot \ln\frac{d_e}{d_i}}{2\pi\lambda n} [T_h^4 - T_e^4(x)] \qquad (18)$$

Introducînd expresia lui $T_i(x)$ dată de (18) în (17), rezultă:

$$T(x) = T_e(x) - \frac{f_1 \sigma a_c D}{2\pi f_2 \lambda n \alpha_c(x) d_i} \left[f_2 \alpha_c(x) d_i \ln\frac{d_e}{d_i} + 2\lambda \right] \cdot [T_h^4 - T_e^4(x)] \qquad (19)$$

De asemenea, din egalitatea $dQ_1 = dQ_4$ și prin integrare în lungul ecranului între 0 și x, respectiv T_{e_0} și $T_e(x)$ se găsește:

$$S(x) = \frac{c_p \dot{G}}{4 f_1 a_c \sigma T_h^3} \left[\ln\frac{T_h + T_e(x)}{T_h - T_e(x)} \cdot \frac{T_h - T_{e_0}}{T_h + T_{e_0}} + 2 \operatorname{arc\,tg}\frac{T_e(x)}{T_h} - 2 \operatorname{arc\,tg}\frac{T_{e_0}}{T_h} \right] \qquad (20)$$

unde $S(x) = D \cdot x$ este suprafața ecranului de radiație.

Aceste ecuații trebuie să fie apte de a furniza date pentru proiectare (D, $S = D \cdot L$) sau să asigure calculul de verificare pentru regimurile de temperaturi ale agentului termic $T(x)$, funcție de regimurile nenominale pentru temperatura echivalentă a radiației concentrate de heliostate T_h, pentru temperatura de intrare a agentului termic în CR, T_0, și pentru debitul vehiculat $\dot{G}$.

În această formă relațiile (18) și (19) nu pot oferi expresii analitice simple (nu se poate elimina $T_e(x)$ între aceste relații), dar se pot obține informații fie introducînd ipoteze simplificatoare, fie prin intermediul unor programe de calcul.

2.1. *Corelația dintre parametri în cadrul unor ipoteze simplificatoare*

Analizînd relația (19), se observă că diferența dintre temperatura fluidului $T(x)$ și temperatura exterioară a peretelui ecranului $T_e(x)$ este

dată de o funcție de: $\alpha_c(x)$, λ, T_h și parametrii constructivi D, n, d_i, d_e, f_1, f_2; deși diferența se micșorează cu creșterea lui $T_e(x)$ în raport cu T_h, nu vom lua în considerație diminuarea funcției produsă de diferența puterilor de ordin 4 a acestora.

Putem scrie ecuația (18) astfel:

$$T(x) = T_e(x) - g(\alpha_c, \lambda, T_h, \text{parametri constructivi}) \quad (21)$$

Se constată că pentru valori uzuale ale lui α_c (5 000—10 000 W/m² K) și valori ale lui $T_h < 1000°$ K, valorile lui g (α_c, λ, T_h param. constr.) nu depășesc 3—8 grd., scăzînd foarte rapid cu scăderea lui T_h. Factorul constructiv $\frac{f_1}{f_2}\frac{D}{nd_i}$ are valoarea 2—2,5 pentru ecran, țeavă lîngă țeavă, normal radiației și nu are variații mari pentru pași $p > d_e$. În funcția $g(\alpha_c, \lambda, T_h$, param. constr.) se observă un termen conductiv și un termen convectiv; ponderea termenului conductiv este de circa 1—5% pentru α_c considerat mai sus, $d_i =$ =10—50 mm și pentru țeavă din OL.

În aceste condiții se pot aproxima temperaturile la lungimea x: $T(x) \simeq T_i(x) \simeq T_e(x)$ și $T_0 \simeq T_{i_0} \simeq T_{e_0}$ pentru temperaturile de intrare. Cu acestea se poate scrie relația (20) sub forma:

$$S(x) = \frac{c_p \cdot \dot{G}}{4 f_1 a_c \sigma T_h^3}\left[\ln \frac{T_h + T(x)}{T_h - T(x)} \cdot \frac{T_h - T_0}{T_h + T_0} + \right.$$

$$\left. + 2 \operatorname{arc\,tg} \frac{T(x)}{T_h} - 2 \operatorname{arc\,tg} \frac{T_0}{T_h}\right] \quad (22)$$

Relația (22) se poate utiliza în calcule de proiectare orientative, rezultatele fiind optimiste, suprafața rezultată fiind mai mică decît cea necesară. De asemenea, prin iterații sau cu un program de calcul se poate folosi și în sensul unor calcule de verificare la regimuri diferite de cel nominal. Se observă că relația obținută nu înglobează decît efectele transferului radiativ.

2.2. *Dimensionarea ecranelor unui CR — program de calcul*

În calculele de dimensionare pentru o CR intervin o serie de factori suplimentari față de cazul unui singur ecran. Diversele ecrane de indici k — notați la exponent — au poziționări diferite în cadrul CR și deci fiecăruia îi corespund factori unghiulari de iradiere f_1 diferiți, precum și temperaturi T_h diferite.

Este prezentată schema logică a unui program de calcul (fig. 2) avînd ca obiectiv determinarea suprafețelor ecranelor $k = 1, \ldots, N$

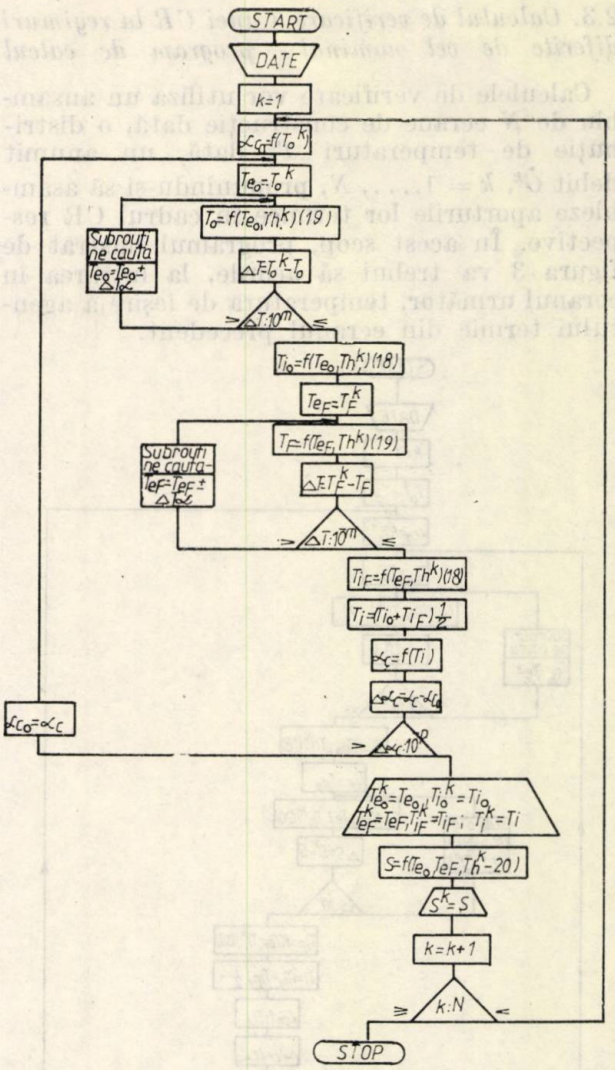


Fig. 2

unei CR, caracterizate de o anumită poziționare în cadrul CR (f_1^k, T_h^k) și de anumite temperaturi de intrare și de ieșire cerute agentului termic pentru fiecare ecran (T_0^k, T_F^k). Programul determină temperaturile la exteriorul pereților ecranelor, atît la intrare cît și la ieșire ($T_{e_0}^k$, $T_{e_F}^k$), utilizînd relația (19), apoi, în vederea efectuării unui calcul corect al coeficientului de convecție $\alpha_c(x) = \alpha_c(W, T_i(x))$ se calculează temperaturile la interiorul pereților la intrare și ieșire ($T_{i_0}^k$, $T_{i_F}^k$), făcîndu-se apoi media lor: $T_i^k = \frac{T_{i_0}^k + T_{i_F}^k}{2}$. În final, prin utilizarea relației (20) se obține suprafața necesară ecranului k: S^k, respectiv, prin aceasta, lungimea sa L^k (lățimea D^k fiind deja fixată de relațiile utilizate). Ciclurile de căutare cuprind o comparare $\Delta X : 10^{-m}$ a preciziei de calcul a mărimii X, care se alege mai mică decît 10^{-m}, $m \in \mathbb{Z}$. S-a propus: $m = 1$ pentru temperatură, $m = -2$ sau -1 pentru α_c și $m = 2$ pentru suprafață.

2—c. 2799 40

2.3. *Calculul de verificare a unei CR la regimuri diferite de cel nominal — program de calcul*

Calculele de verificare vor utiliza un ansamblu de N ecrane de construcţie dată, o distribuţie de temperaturi T_h^k dată, un anumit debit $\dot{G}^k$, $k = 1, \ldots, N$, propunîndu-şi să asamblеze aporturile lor termice în cadrul CR respective. În acest scop, programul ilustrat de figura 3 va trebui să acorde, la intrarea în ecranul următor, temperatura de ieşire a agentului termic din ecranul precedent.

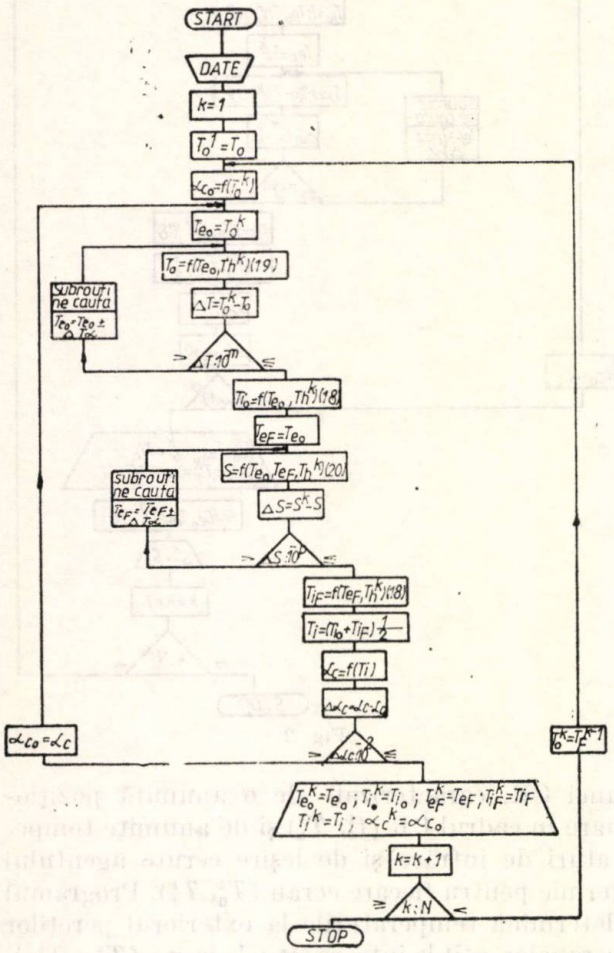


Fig. 3

Dîndu-se $T_0^1 = T_0^{CR}$, se va obţine, prin căutare cu relaţia (19), valoarea lui $T_{e_0}^1$, apoi cu relaţia (18) valoarea lui $T_{i_0}^1$. Urmează un nou proces de căutări cu relaţia (20) pentru temperatura finală a pereţilor la exterior, $T_{e_F}^1$, din care se va găsi şi $T_{i_F}^1$. Se iterează într-un ciclu larg după coeficientul convecţiei $\alpha_c = f(T_i^1)$, după care se trece la ecranul cu $k = 2$, făcîndu-se $T_0^2 = T_F^1$ şi aşa mai departe pînă la epuizarea ecranelor. Ca rezultat final, programul dă $T_F^N = T_F^{CR}$, putîndu-se studia influenţa debitelor $\dot{G}$, a temperaturilor de intrare T_0^{CR}, a distribuţiilor de temperaturi T_h^k diferite de cele nominale.

Programul de verificare realizat a fost utilizat în cazul unei CR compusă din două ecrane, unul periferic de indice 1 şi altul central de indice 2.

A fost efectuat un studiu al dependenţei temperaturii de ieşire din CR, T_F, funcţie de temperatura de intrare T_0 şi de temperaturile echivalente ale radiaţiei concentrate T_h^1, T_h^2, între care s-a presupus relaţia : $T_h^2 = T_h^1 + 100$ pentru debitele : $\frac{1}{4}\dot{G}, \frac{1}{2}\dot{G}, \frac{3}{4}\dot{G}, \dot{G}$ (fig. 4).

S-a studiat de asemenea dependenţa lui T_F funcţie de T_0 şi de distribuţia radiaţiei concentrate, în cazurile $T_h^2 = T_h^1 + 100$, $T_h^2 = T_h^1 + 75$, $T_h^2 = T_h^1 + 50$, la debitul nominal $\dot{G}$.

3. Calculul parametrilor termici caracteristici ai cavităţii receptoare a unei centrale solare cu cîmp de heliostate şi turn

Din expresia (13) a fluxului elementar de energie preluat de agentul termic al CR, prin integrare în lungul ecranului se desprinde fluxul util Q_u :

$$Q_u = \int_0^L \mathrm{d}Q_4 = \int_{T_0}^{T_F} \mathrm{d}Q_4 = \dot{G}\, c_p (T_F - T_0) \quad (23)$$

Relaţia (20) permite exprimarea produsului $\dot{G} \cdot c_p$ şi deci o altă formă a fluxului util Q_u. Utilizăm în scrierea relaţiei valorile pentru $x = L$ în ipoteza unei temperaturi T_h constante pe deschiderea CR :

$$Q_u = \frac{4 \cdot a_c \cdot \sigma \left(\sum_{k=1}^{N} f_1^k S^k \right) T_h^3 (T_F - T_0)}{\ln \frac{T_h + T_{e_F}}{T_h - T_{e_F}} \cdot \frac{T_h - T_{e_0}}{T_h + T_{e_0}} + 2 \operatorname{arc\,tg} \frac{T_{e_F}}{T_h} - 2 \operatorname{arc\,tg} \frac{T_{e_0}}{T_h}} \quad (24)$$

Ţinînd seamă de relaţiile (15), (5) şi (7), se poate scrie :

$$Q_u = \frac{4 \cdot a_c \cdot \sigma \cdot S_d\, T_h^3 (T_F - T_0)}{\ln \frac{T_h + T_{e_F}}{T_h - T_{e_F}} \cdot \frac{T_h - T_{e_0}}{T_h + T_{e_0}} + 2 \operatorname{arc\,tg} \frac{T_{e_F}}{T_h} - 2 \operatorname{arc\,tg} \frac{T_{e_0}}{T_h}} = \beta Q_{desch} = \beta\, \sigma\, T_h^4 S_d \quad (25)$$

În acest fel rezultă expresia factorului de pierderi β :

$$\beta = \frac{4\, a_c \frac{T_F - T_0}{T_h}}{\ln \frac{T_h + T_{e_F}}{T_h - T_{e_F}} \cdot \frac{T_h - T_{e_0}}{T_h + T_{e_0}} + 2 \operatorname{arc\,tg} \frac{T_{e_F}}{T_h} - 2 \operatorname{arc\,tg} \frac{T_{e_0}}{T_h}} \quad (26)$$

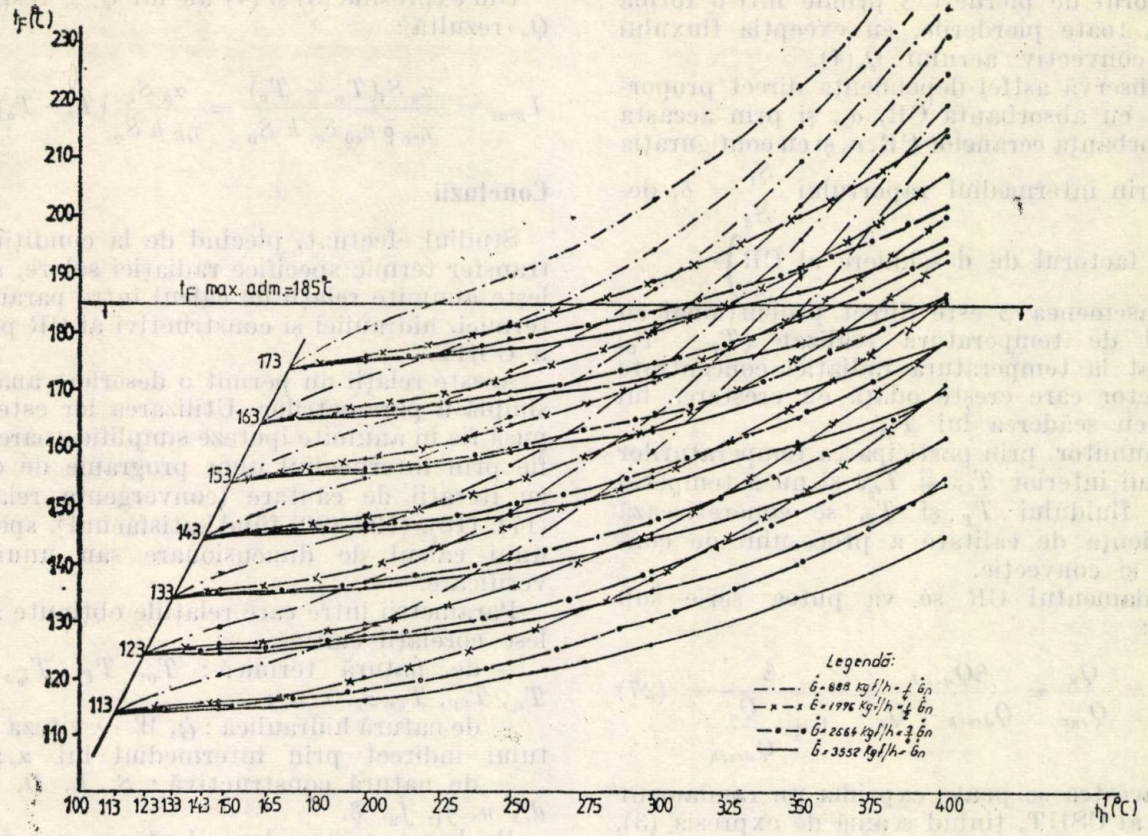

t_F(°C)
t_F max. adm.=185°C
Legendă:
$\dot{G}$=888 kgf/h=$\frac{1}{4}\dot{G}_n$
$\dot{G}$=1776 kgf/h=$\frac{1}{2}\dot{G}_n$
$\dot{G}$=2664 kgf/h=$\frac{3}{4}\dot{G}_n$
$\dot{G}$=3552 kgf/h=$\dot{G}_n$
t_h^1(°C)

Fig. 4

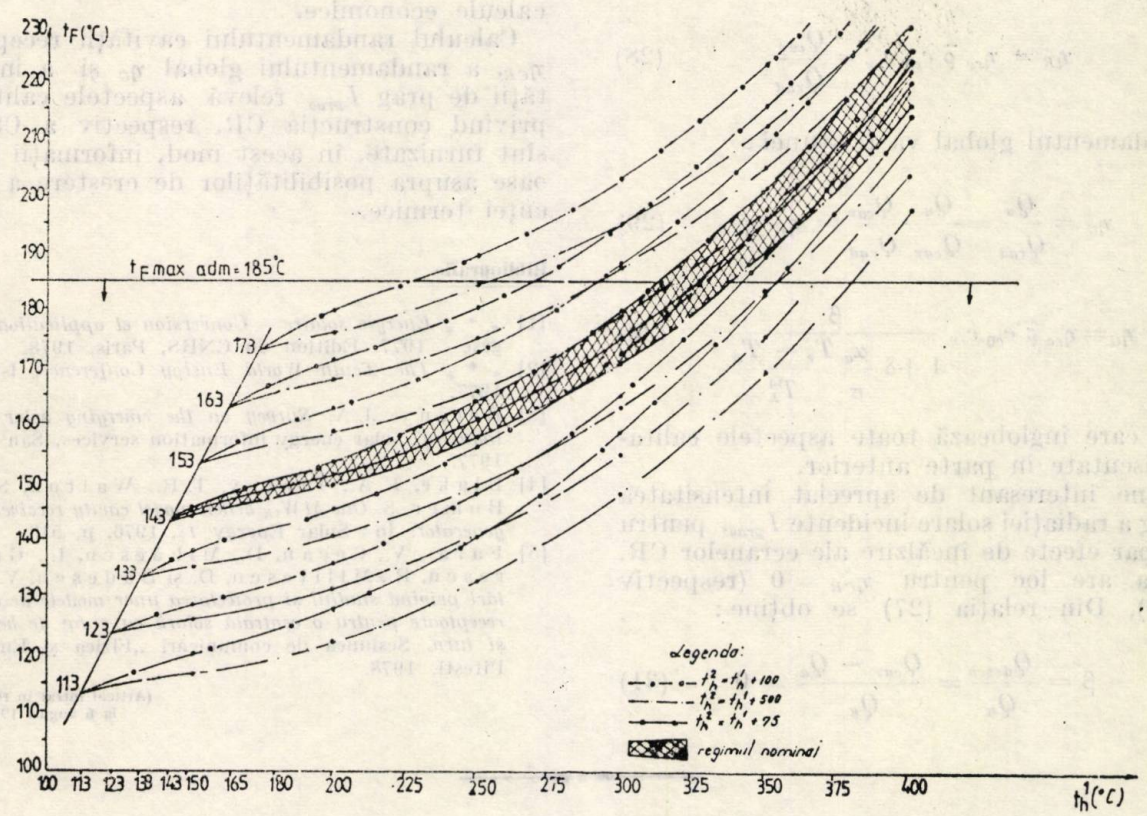

t_F(°C)
t_F max adm.=185°C
Legendă:
$t_h^2 = t_h^1 + 100$
$t_h^2 = t_h^1 + 500$
$t_h^2 = t_h^1 + 75$
regimul nominal
t_h^1(°C)

Fig. 5

Factorul de pierderi β prinde într-o formă globală toate pierderile, cu excepţia fluxului cedat convectiv aerului Q_a(4).

Se observă astfel dependenţa direct proporţională cu absorbanţa CR, a_c, şi prin aceasta cu absorbanţa ecranelor CR, a, şi cu configuraţia CR (prin intermediul raportului $\frac{S_i}{S_a} = \delta$, denumit factorul de deschidere al CR).

De asemenea β este direct proporţional cu ecartul de temperatură realizat $(T_F - T_0)$ raportat la temperatura radiaţiei concentrate T_h, factor care creşte odată cu creşterea lui T_h şi cu scăderea lui T_0.

La numitor, prin participarea temperaturilor peretelui interior T_{e_F} şi T_{e_0}, şi nu a temperaturilor fluidului T_F şi T_0, se concretizează dependenţa de calitate a procesului de conducţie şi convecţie.

Randamentul CR se va putea scrie sub forma :

$$\eta_{CR} = \frac{Q_u}{Q_{cav}} = \frac{\beta Q_{desch}}{Q_{desch} + Q_a} = \frac{\beta}{1 + \frac{Q_a}{Q_{desch}}} \qquad (27)$$

Cu acestea se poate exprima un randament global al CSHT, ţinînd seamă de expresia (3), în care putem grupa factorii ce diminuează Q_{rad}, introducînd eficienţa radiaţiei solare în CSHT :

$$\eta_R = \eta_{rc}\, \bar{\rho}\, c_{c0}\, c_{cv} = \frac{Q_{cav}}{Q_{rad}} \qquad (28)$$

Randamentul global va fi atunci :

$$\eta_G = \frac{Q_u}{Q_{rad}} = \frac{Q_u}{Q_{cav}} \cdot \frac{Q_{cav}}{Q_{rad}} = \eta_R \cdot \eta_{CR} \qquad (29)$$

sau :

$$\eta_G = \eta_{rc}\, \bar{\rho}\, c_{c0}\, c_{cv}\, \frac{\beta}{1 + \delta \frac{\alpha_a}{\sigma} \frac{T_e - T_a}{T_h^4}} \qquad (30)$$

relaţie care înglobează toate aspectele calitative discutate în parte anterior.

Devine interesant de apreciat intensitatea de prag a radiaţiei solare incidente I_{prag}, pentru care apar efecte de încălzire ale ecranelor CR. Aceasta are loc pentru $\eta_{CR} = 0$ (respectiv $\eta_G = 0$). Din relaţia (27) se obţine :

$$\beta = \frac{Q_{desch}}{Q_u} = \frac{Q_{cav} - Q_a}{Q_u} = 0 \qquad (31)$$

Din expresiile (3) şi (4) ale lui Q_{cav}, respectiv Q_a rezultă :

$$I_{prag} = \frac{\alpha_a S_i (T_e - T_a)}{\eta_{rc}\, \bar{\rho}\, c_{c0}\, c_{cv}\, h\, S_0} = \frac{\alpha_a S_i}{\eta_R\, h\, S_0} (T_e - T_a) \qquad (32)$$

Concluzii

Studiul efectuat, plecînd de la condiţiile de transfer termic specifice radiaţiei solare, stabileşte anumite relaţii de calcul între parametrii termici, hidraulici şi constructivi ai CR pentru o CSHT.

Aceste relaţii nu permit o descriere analitică simplă a parametrilor. Utilizarea lor este propusă fie în anumite ipoteze simplificatoare (22), fie prin intermediul unor programe de calcul cu iteraţii de căutare (convergenţa relaţiilor (17), (18), (19), (20) fiind satisfăcută), specifice unui calcul de dimensionare sau unuia de verificare.

Parametrii între care relaţiile obţinute stabilesc corelaţii sînt :

— de natură termică : T_0, T_F, T_{i_0}, T_{i_F}, T_{e_0}, T_{e_F}, T_h, α_c, λ, a_c ;

— de natură hidraulică : $\dot{G}$, W — viteza agentului indirect prin intermediul lui α_c ;

— de natură constructivă : S, L, D, p, d_i, d_e, n, f_1, f_2, δ.

Pe baza acestor dependenţe se pot realiza calcule de optimizare a parametrilor, diagrame de verificare a regimurilor nenominale sau calcule economice.

Calculul randamentului cavităţii receptoare η_{CR}, a randamentului global η_G şi a intensităţii de prag I_{prag} relevă aspectele calitative privind construcţia CR, respectiv a CSHT ; sînt furnizate, în acest mod, informaţii preţioase asupra posibilităţilor de creştere a eficienţei termice.

Bibliografie

[1] * * * *Energie solaire — Conversion et applications.* Cargèse — 1977. Edition du CNRS, Paris, 1978.

[2] * * * *The Tenth World Energy Conference*, Istanbul, 1977.

[3] Bereny, J. A. *Survey on the emerging solar energy industry.* Solar energy information services, San Mateo, 1977.

[4] Blake, F. A., Tracey, T. R., Walton, S. D. şi Bomer, S. *One MW$_{th}$ bench model cavity receiver steam generator.* În : Solar Energy *18*, 1976, p. 513.

[5] Fara, V., Cecan, D., Mihăescu, L., Grigorescu, R., Miliţescu, D. şi Bădescu, V. *Cercetări privind studiul şi proiectarea unor modele de cavităţi receptoare pentru o centrală solară cu cîmp de heliostate şi turn.* Sesiunea de comunicări „Fizica şi Energia", Piteşti, 1978.

(Articol intrat în redacţie la 6 august 1980)

Determinarea experimentală a temperaturii de echilibru a apei şi a coeficientului global de schimb termic apă-atmosferă

Ing. C. Dumitru*)

1. Consideraţii generale

În multe domenii de activitate (exploatarea lacurilor de răcire şi bazinelor de stropire pentru centralele electrice, evitarea poluării termice, meteorologie, hidrologie etc.) este necesară prognozarea evoluţiei temperaturii unei mase de apă care schimbă căldură cu mediul ambiant, în special prin intermediul suprafeţei de contact cu atmosfera.

Pentru calculul valorii temperaturii unei mase de apă după un interval de timp τ, în literatură [2] este indicată următoarea relaţie :

$$t - t_e = (t_0 - t_e) \cdot \exp\left(-\frac{K \cdot \tau}{\gamma \cdot c \cdot h}\right) \quad (1)$$

În cazul unui rîu, relaţia de mai sus se poate scrie :

$$t - t_e = (t_0 - t_e) \cdot \exp\left(-\frac{K \cdot A}{\gamma \cdot c \cdot D}\right) \quad (2)$$

unde

t este temperatura apei după timpul τ, °C;
t_0 — temperatura apei la începutul procesului, °C;
t_e — temperatura de echilibru, °C;
K — coeficientul global de schimb termic apă-atmosferă, kcal/m² ·h.grd;
c — căldura specifică a apei, kcal/kgf ·grd;
A — suprafaţa oglinzii apei, m²;
D — debitul apei, m³/h;
γ — greutatea specifică a apei, kgf/m³;
τ — timpul, h.

Cu anumite precauţii, acelaşi tip de relaţie (1, respectiv 2), se poate folosi şi la studiul schimbului termic al lacurilor, mărilor etc.

Se observă că pentru calculul temperaturii apei avem nevoie de două mărimi importante, şi anume : temperatura de echilibru (t_e) şi coeficientul global de schimb termic apă-atmosferă (K).

Temperatura de echilibru este temperatura care se stabileşte în masa apei cînd aceasta a ajuns în echilibru termodinamic cu mediul ambiant (apa emite aceeaşi cantitate de energie pe care o primeşte). Pentru calculul acesteia există mai multe modalităţi, după diverşi autori. Astfel G. Halleux (1964) [1] indică următoarea relaţie :

$$t_e = \theta + \frac{R_{sol.net} - r_t \cdot \sigma \cdot (x''_\theta - x_\theta)}{r \cdot \sigma \cdot \dfrac{x''_t - x''_\theta}{t - \theta} + \alpha_{conv} + 4\sigma^* \cdot \varepsilon \cdot (t_m + 273{,}15)^3} \quad (3)$$

unde t_m satisface următoarea relaţie :

$$4(t_m + 273)^3 = (t+273)^3 + (t+273)^2 (\theta+273) + (t+273)(\theta+273)^2 + (\theta+273)^3$$

R. Gras (1968) arată că temperatura de echilibru satisface următoarea ecuaţie de gradul 4, care se rezolvă iterativ :

$$(R_{sol.net} + R_{atm}) - r_{t_e} \cdot \sigma \cdot (x''_{t_e} - x_\theta) - \alpha_{conv}(t_e - \theta) - \sigma^* \cdot (t_e + 273{,}15)^4 = 0 \quad (4)$$

În afară de relaţiile (3) şi (4), care dau valori apropiate pentru temperatura de echilibru, mai există şi alte metode aproximative de calcul. De exemplu, relaţia folosită de Dingman (1972) [4] :

$$t_e = \theta + \frac{R_{sol.net} - Q_0}{K} \quad (5)$$

şi relaţia mai aproximativă folosită de Brady şi colaboratorii (1969) [3] :

$$t_e = t_{rouă} + \frac{R_{sol.brut}}{K} \quad (6)$$

În relaţiile (3)—(6) se folosesc următoarele notaţii suplimentare :

$R_{sol.net}$, $R_{sol.brut}$ — fluxul de căldură provenit din radiaţia solară care pătrunde în apă şi, respectiv, care ajunge la suprafaţa apei, kcal/m²·h;
R_{atm} — radiaţia atmosferei, kcal/m²·h;
Q_0 — schimbul de căldură la suprafaţa apei cînd $t = \theta$, kcal/m²·h;
θ — temperatura aerului, °C;
$t_{rouă}$ — temperatura punctului de rouă a aerului, °C;
r_t, r_θ — căldura latentă de vaporizare, la temperatura apei, respectiv a aerului, kcal/kgf;

*) Ing. Constantin Dumitru este cercetător ştiinţific la ICEMENERG.

σ — coeficientul de schimb de substanţă, kgf/m^2·h;

σ^* — constanta Stefan-Boltzman, ($\sigma^* = 4{,}8 \cdot 10^{-8}$ kcal/m^2.h.°K^4);

x_t'', x_θ'' — umiditatea absolută a aerului la saturaţie la temperatura apei, respectiv a aerului, kgf/kgf;

x_θ — umiditatea absolută a aerului, kgf/kgf;

α_{conv} — coeficientul de transfer de căldură prin convecţie, kcal/m^2·h·grd

ε — emisivitatea apei ($\varepsilon \simeq 0{,}95$);

K — coeficientul global de schimb de căldură apă-atmosferă, kcal/m^2·h·grd

Coeficientul global de schimb de căldură (K) reprezintă fluxul de căldură schimbat cînd temperatura la suprafaţa apei diferă cu un grad de temperatura de echilibru şi, după Gras, se calculează astfel:

$$K = r_t \cdot \sigma \cdot \frac{\partial x_t''}{\partial t} + \alpha_{conv} + 4\sigma^* \cdot (t + 273{,}15)^3, \qquad (7)$$

unde

$r_t = 596{,}715 - 0{,}548 \cdot t$ reprezintă căldura latentă de vaporizare la temperatura apei, kcal/kgf;

$\frac{\partial x_t''}{\partial t} \simeq (0{,}1325\, t^2 + 0{,}325\ t + 35{,}5) \cdot 10^{-5}$ reprezintă panta umidităţii absolute a aerului la saturaţie în raport cu temperatura, kgf/kgf.°C.

2. Necesitatea măsurării temperaturii de echilibru şi a coeficientului global de schimb de căldură apă-atmosferă

Calculul celor două mărimi cu metodele enunţate prezintă unele inconveniente ca:

— necesitatea măsurării radiaţiei solare directe şi difuze, a temperaturii şi umidităţii atmosferice, vitezei vîntului etc., pentru a fi introduse în calculul analitic;

— estimarea aproximativă a lui α_{conv} şi, respectiv, σ, mai ales pentru situaţia în care cifra Lewis este diferită de 1 $\left(\mathrm{Le} = \frac{\sigma \cdot c_p}{\alpha_{conv}} \neq 1\right)$;

— aproximaţii la determinarea radiaţiei apei şi atmosferei a gradului de reflexie al suprafeţei apei etc.

Lucrarea de faţă prezintă un sistem experimental practic ce permite măsurarea nemijlocită a temperaturii de echilibru şi, printr-un calcul simplu, obţinerea valorii coeficientului global de schimb.

Prin măsurarea celor două mărimi se apreciază că se vor obţine valori mai corecte decît cele determinate prin calcul, din următoarele motive:

— se evită necesitatea unor măsurători pretenţioase, cum ar fi cele de radiaţie solară, umiditate atmosferică, vînt etc.;

— se evită folosirea unor relaţii semiempirice aproximative pentru coeficienţii de transfer de căldură şi substanţă;

— se evită eroarea de metodă de calcul.

3. Determinarea experimentală a temperaturii de echilibru

În bibliografia studiată, singură lucrarea [2] sugerează ca posibilitate de măsură a temperaturii de echilibru un bac cu adîncime foarte mică a apei.

Sistemul experimental cu care urmează să se stabilească temperatura de echilibru trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

— să aibă o inerţie termică foarte redusă (pentru a permite trecerea rapidă de la o stare de echilibru la alta);

— să asigure egalitatea între diferitele fluxuri de energie întîlnite în condiţiile rîului cu cele întîlnite în determinarea experimentală;

— să aibă dimensiuni care să excludă efectele de margine introduse de un sistem prea mic.

Condiţiile de mai sus pot fi îndeplinite de o cuvă de metal, cu înălţime mică în raport cu celelalte dimensiuni, izolată corespunzător faţă de sol sau apă (în situaţia amplasării direct pe rîu). În cuvă se introduce apă de rîu, astfel încît să se asigure o adîncime h.

S-au ales pentru cuvă dimensiunile indicate în figura 1. Materialul folosit a fost tablă galva-

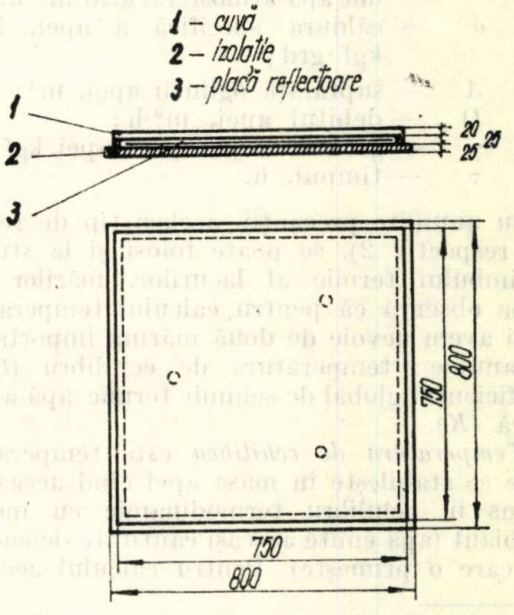


Fig. 1. Schiţa cuvei şi a sistemului de izolaţie faţă de sol (dimensiuni în mm).

nizată cu grosimea de 0,5 mm. Izolaţia termică faţă de sol s-a asigurat printr-o succesiune de rezistenţe termice : prima rezistenţă — o placă de lemn acoperită cu vopsea albă cu oxid de titan, a doua — un strat de aer de circa 25 mm grosime (care are şi rolul de a izola cuva de placa de lemn, cu inerţie termică mare), a treia — o tablă de aluminiu, lucioasă, care reflectă aproape în întregime radiaţia infraroşie a fundului cuvei.

S-a admis că fluxurile de căldură prin convecţie, evaporare şi radiaţie sînt practic aceleaşi atît la cuvă, cît şi în condiţiile apei rîului. Spre deosebire de radiaţia infraroşie a stratului de apă, care practic are loc superficial, radiaţia solară de lungime de undă mică necesită o grosime mai mare a stratului de apă străbătut, pentru a fi absorbită. De aceea fundul cuvei de experienţă se va înnegri.

3.1. *Inerţia termică a cuvei. Timpul necesar pentru atingerea temperaturii de echilibru*

Plecînd de la relaţia (1), se obţine :

$$\tau = \frac{\gamma \cdot c \cdot h}{K} \cdot \ln \frac{t_0 - t_e}{t - t_e} \qquad (8)$$

Punînd condiţia ca $t_0 - t_e = 10$ grd şi $t - t_e = 1$ grd şi considerînd trei valori pentru coeficientul global de schimb, am obţinut rezultatul din figura 2. Se observă că, dacă micşorăm grosimea stratului de apă din cuvă pînă la limita de măsurare a temperaturii, se obţine o reducere direct proporţională a inerţiei termice a sistemului (deci o reducere în aceeaşi măsură a timpului necesar pentru stabilirea temperaturii de echilibru, t_e).

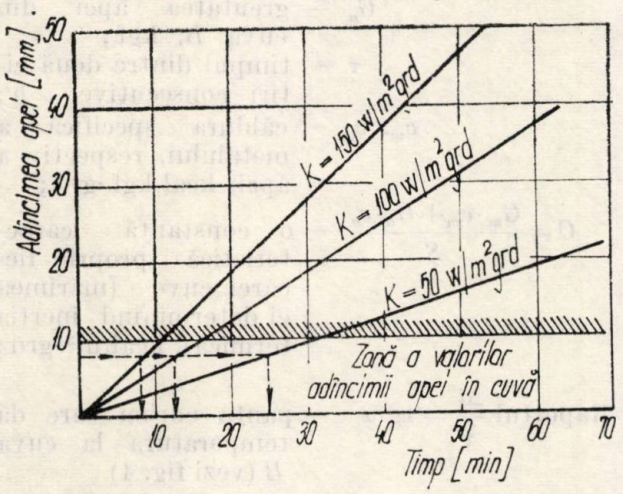


Fig. 2. Timpul necesar apropierii temperaturii apei la un grad de temperatura de echilibru, considerînd trei valori ale coeficientului de schimb şi un ecart iniţial de 10 grade.

În calculul efectuat mai sus s-a ţinut seama numai de inerţia termică a stratului de apă. Intervine însă şi inerţia termică a metalului cuvei, dar aceasta este mică datorită grosimii mici a tablei şi datorită căldurii specifice aproximativ de 10 ori mai mică decît a apei. La începutul experienţelor este necesar să se lase cuva un timp mai îndelungat (15—20 min), în condiţiile ambiante ale zonei de lucru, pînă la atingerea unei temperaturi foarte apropiate de temperatura de echilibru.

3.2. *Rezultate obţinute*

Ca exemplu, în figura 3 s-a reprezentat temperatura de echilibru măsurată şi calculată, împreună cu valorile diferiţilor factori meteo-

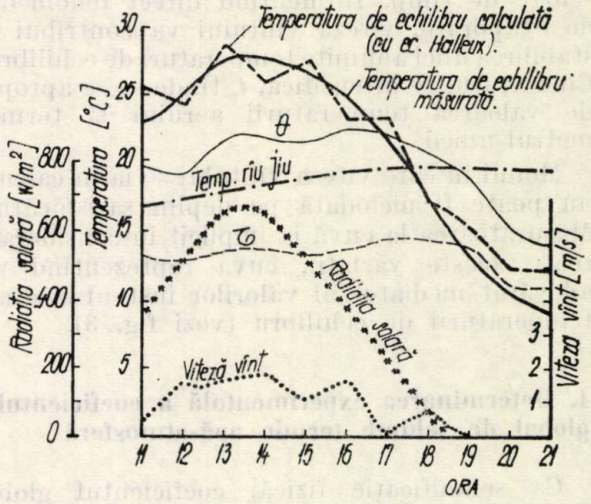


Fig. 3. Măsurători efectuate la Işalniţa la 10 septembrie 1975.
θ — temperatura aerului la termometrul uscat ; τ — temperatura aerului la termometrul umed.

rologici de care aceasta depinde. Măsurătorile s-au efectuat în 1975 în cadrul cercetării poluării termice a rîului Jiu. Se observă o concordanţă destul de bună între valorile calculate şi cele măsurate pentru temperatura de echilibru. Aceste valori corespund însă unor parametri meteorologici locali (din zona în care s-a făcut determinarea). Generalizarea ei pentru o zonă măsurînd deseori pînă la cîteva zeci de km (de-a lungul rîului) este susceptibilă de anumite corecţii. Aceasta deoarece pot să difere atît parametrii meteorologici, cît şi gradul de umbrire a anumitor porţiuni din albia rîului.

Din figura 3 se observă că amplitudinea de variaţie diurnă a valorilor temperaturii de echilibru este, în zilele senine, cu mult mai mare decît cea a valorilor temperaturii aerului şi mai ales a apei. Ziua alura curbei de variaţie a temperaturii de echilibru este foarte asemănătoare cu cea a radiaţiei solare (ca factor perturbator trebuie amintită aici viteza vîntului).

Noaptea (sau în zilele noroase), valorile temperaturii de echilibru se apropie de cele ale temperaturii termometrului umed, cu excepţia nopţilor senine şi cu umiditate scăzută a aerului, cînd temperatura de echilibru coboară sub temperatura termometrului umed (care dă limita răcirii prin evaporare). Cauza este radiaţia termică a apei, care, datorită transpa-

rentei atmosferei în anumite domenii ale spectrului, se pierde în spațiul cosmic.

Intersecția curbei temperaturii de echilibru cu cea a temperaturii naturale a rîului ne dă punctul de maxim al acesteia din urmă (în afară de situațiile cînd în amonte vin mase de apă mai calde, datorită efectului de încălzire anterior, la alte condiții locale, sau la debite mai mici de apă).

Viteza vîntului este un parametru cu o variabilitate foarte mare, chiar în intervale scurte de timp. Influențînd direct fenomenul de evaporare, viteza vîntului va contribui la stabilirea unei anumite temperaturi de echilibru. Cînd vîntul se intensifică, t_e tinde să se apropie de valoarea temperaturii aerului la termometrul umed.

Modul în care viteza vîntului se ia în calcule nu poate fi niciodată pe deplin satisfăcător. Măsurătoarea la cuvă ia implicit în considerare toate aceste variații, cuva reprezentînd un adevărat mediator al valorilor instantanee ale temperaturii de echilibru (vezi fig. 3).

4. Determinarea experimentală a coeficientului global de schimb termic apă-atmosferă

Ca semnificație fizică, coeficientul global de schimb termic (relația 7) reprezintă, după [2], cantitatea de energie netă (raportată la unitatea de suprafață și la un grad diferență de temperatura de echilibru), care este înglobată de masa de apă (sau este cedată mediului).

Acest coeficient a fost considerat constant pe porțiuni apropiate de temperatura de echilibru.

4.1. *Modul de experimentare*

Pentru determinarea coeficientului global K este necesar să se dispună de două cuve (la fel ca cea descrisă în cap. 3).

Una din cuve (A) va fi pregătită din timp pentru măsurători (cel puțin 20 minute) și va da temperatura de echilibru. În cea de-a doua cuvă (B) se va introduce apă din rîul al cărui regim termic se studiază. Se va urmări în timp evoluția temperaturii în cele două cuve, pînă cînd ambele vor indica aceeași temperatură (fig. 4).

Sistemul cuvă metalică cu apă se poate considera izolat față de sol (sau față de bac, în cazul în care se amplasează pe apă), el schimbînd energie doar prin intermediul oglinzii apei din cuvă.

4.2. *Modul de calcul*

Plecînd de la cele arătate anterior, se poate scrie :

$$K \cdot S \cdot \Delta t_{med} \cdot \tau = (G_m \cdot c_m + G_a \cdot c_a) \cdot \Delta t, \qquad (9)$$

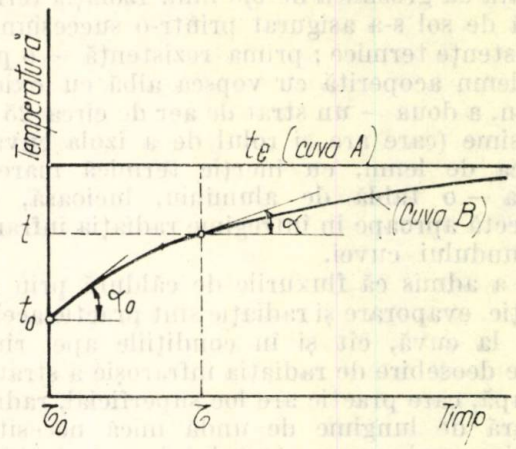


Fig. 4. Variația temperaturii unei mase de apă care schimbă energie cu mediul ambiant prin interfața apă-aer.
Obs. Condițiile de mediu s-au păstrat constante (t_e = const.).

de unde rezultă coeficientul global de schimb :

$$K = \frac{(G_m \cdot c_m + G_a \cdot c_a) \cdot \Delta t}{S \cdot \Delta t_{med} \cdot \tau} = C \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t_{med} \cdot \tau}, \qquad (10)$$

în care

S este suprafața oglinzii apei din cuvă, m²;

Δt_{med} — diferența medie de temperatură între cele două cuve, grd;

Δt — modificarea temperaturii la cuva B în intervalul de timp τ, grd;

G_m — greutatea metalului cuvei, kgf;

G_a — greutatea apei din cuva B, kgf;

τ — timpul dintre două citiri consecutive, h;

c_m, c_a — căldura specifică a metalului, respectiv a apei, kcal/kgf·grd;

$C = \frac{G_m \cdot c_m + G_a \cdot c_a}{S}$ — o constantă caracteristică proprie fiecărei cuve (mărimea ei determinînd inerția termică), kcal/m²·grd;

Raportul $\frac{\Delta t}{\tau} = \text{tg } \alpha$ — panta curbei care dă temperatura la cuva B (vezi fig. 4).

4.3. *Rezultate experimentale*

Pentru ilustrarea celor de mai sus se prezintă în figura 5 o experimentare în condiții de iarnă, efectuată în 1975. Citirile valorilor temperaturilor la cele două cuve s-au făcut la intervale de 300 s.

Media valorilor lui K obținute cu relația (10) a fost de 33,44 kcal/m²·h, iar media valorilor calculate considerînd parametrii meteorologici existenți a fost de 30,2 kcal/m²·h (pentru coeficientul de transfer de substanță folosind o formulă semiempirică valabilă în condiții de rîu).

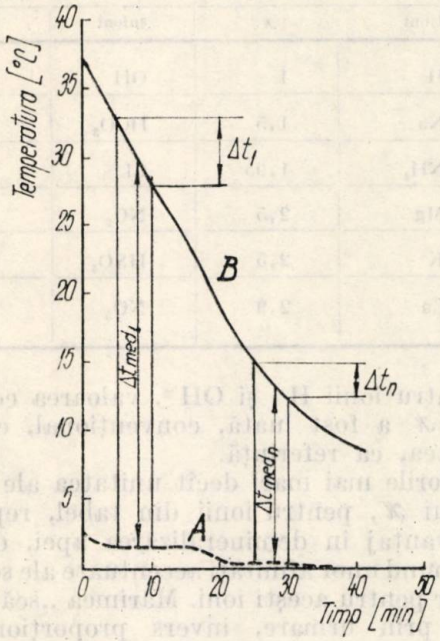


Fig. 5. Variația temperaturii la cele două cuve (A și B). Măsurători efectuate la 29 noiembrie 1975.
A — temperatura de echilibru; B — temperatura în schimbare la cuva B.

În final se amintește că pentru a afla valoarea lui K, pentru un tronson de rîu de exemplu, este necesar ca măsurătorile să se facă în imediata apropiere a rîului, iar temperaturile întîlnite la cuva de experimentare să nu fie cu mult diferite de temperatura medie pe tronsonul de rîu respectiv.

Concluzii

Valorile temperaturii de echilibru și ale coeficientului de schimb de căldură sînt necesare în prognozele temperaturii apelor rîurilor, lacurilor, mărilor etc., atît pentru evitarea poluării termice cît și pentru studiul răcirii sau încălzirii unei mase de apă oarecare.

Valorile măsurate ale acestor doi parametri se obțin ușor, cu un efort mic material și uman, și se apreciază că sînt cel puțin tot atît de precise ca și valorile calculate pe bază de măsurători complexe ale parametrilor ambianți.

În exploatarea părții reci a centralelor termoelectrice, cunoscînd în fiecare moment valoarea temperaturii de echilibru, se cunoaște valoarea limită spre care tinde temperatura apei în momentul respectiv, permițîndu-se luarea de decizii în ceea ce privește evitarea poluării termice (dirijarea curenților de apă caldă în rîu, comutarea pe turnuri etc.).

Utilizarea mai multor sisteme experimentale, puse în condiții diferite (de insolație, vînt, poluare chimică, cu uleiuri etc.), permite să se determine influența acestor factori asupra temperaturii de echilibru și asupra coeficientului global de schimb termic și să se adopte cele mai eficiente măsuri pentru realizarea unei cît mai rapide răciri sau încălziri a apei.

Bibliografie

[1] Halleux, G. *Etude du profil thermique de régime d'un cours d'eau.* În: La tribune du CEBEDEAU, nr. 246 și 252, 1964.

[2] Gras, R. *Réfrigération des centrales thermiques classiques ou nucléaires par plan d'eau et rivières. Estimation de la capacité de réfrigération d'une rivière.* E.D.F., Direction des études et recherches nucléaires, thermiques et hydrauliques, martie 1968.

[3] Parker, F. L. *Thermal discharges from power stations.* În: Atomic Energy Review, vol. 11, nr. 4, 1973.

[4] Dingman, L. S. *Equilibrium Temperatures of Water Surfaces as Related to Air Temperature and Solar Radiation.* În: Water Resources Research, vol. 8 nr. 1, febr. 1972.

[5] * * * *Cercetări privind capacitatea de preluare de către emisari a căldurii reziduale provenite de la centralele termoelectrice.* Lucrare de cercetare, ICEMENERG, dec. 1975 (anexa VI).

(Articol intrat în redacție la 13 mai 1980)

Gradul de regenerare a schimbătorilor de ioni

Ing. L. Stanisavlievici

Cunoaşterea fenomenelor care au loc în schimbătorii de ioni în domeniul performanţelor μg/kg (ppb), la demineralizarea apei, are importanţă atît teoretică cît şi practică. Unul dintre aceste fenomene este *gradul de regenerare* al unui schimbător de ioni, el exprimînd, în procente din capacitatea sa totală, cantitatea de grupe active care trebuie să fie disponibile la fiecare ciclu de lucru pentru a asigura atingerea performanţelor cerute. Este vorba aici de mărimea „scăpărilor" — adică a ionilor nereţinuţi — care apar în apa tratată, pentru filtrele etajelor de „finisare" sau pentru filtrele cu pat mixt; ele trebuie să fie de ordinul de mărime ppb.

Nivelul de regenerare al unui schimbător de ioni are un caracter empiric şi este dependent de un număr de condiţii generale şi specifice; gradul de regenerare este determinat de afinitatea grupelor active de schimb faţă de ionii din apa de tratat. Pentru stabilirea lui se determină în prealabil coeficientul de echilibru (de afinitate sau de selectivitate) $\mathcal{K}$; în acest scop se folosesc reacţiile chimice de schimb ionic. În notaţia cunoscută şi pentru ionii care interesează în special în „finisarea" apei, se poate scrie:

$$R.H + Na^+ \rightleftharpoons R.Na + H^+$$

$$R.OH + Cl^- \rightleftharpoons R.Cl + OH^-$$

$$R.NH_4 + Na^+ \rightleftharpoons R.Na + NH_4^+$$

Echilibrul chimic de schimb ionic, specific unei situaţii date, are următoarea expresie pentru reacţiile de mai sus:

$$\mathcal{K} = \frac{[R\cdot Na]\cdot[H^+]}{[R\cdot H]\cdot[Na^+]};\quad \mathcal{K} = \frac{[R\cdot Cl]\cdot[OH^-]}{[R\cdot OH]\cdot[Cl^-]}$$

$$\mathcal{K} = \frac{[R\cdot Na]\cdot[NH_4^+]}{[R\cdot NH_4]\cdot[Na^+]}$$

Mărimea coeficientului $\mathcal{K}$ reflectă forţa de reţinere a schimbătorului pentru ionii din soluţie şi este direct proporţională cu valoarea acesteia. Astfel au fost stabilite seriile de afinităţi ionice valabile pentru schimbătorii de ioni cu funcţii similare, de calitate standard şi pentru concentraţii ionice de acelaşi ordin de mărime.

Tabelul 1 prezintă valorile medii ale coeficientului de echilibru $\mathcal{K}$ pentru un schimbător cationic sulfonic, cu grad de reticulare 8% DVB, şi pentru un schimbător anionic puternic bazic de tip I, cu grad de reticulare 6%, privind unii ioni din apă, în concentraţiile întîlnite obişnuit la demineralizarea ei prin schimbători de ioni.

Tabelul 1

Coeficienţii de echilibru $\mathcal{K}$, pentru unii ioni

Schimbător cationic sulfonic 8% DVB		Schimbător anionic puternic bazic tip I	
cationi	$\mathcal{K}$	anioni	$\mathcal{K}$
H	1	OH	1
Na	1,5	HCO_3	6
NH_4	1,95	Cl	18
Mg	2,5	NO_2	24
K	2,5	HSO_4	25
Ca	2,9	NO_3	65

Pentru ionii H^+ şi OH^-, valoarea coeficientului $\mathcal{K}$ a fost luată, convenţional, egală cu unitatea, ca referinţă.

Valorile mai mari decît unitatea ale coeficientului $\mathcal{K}$, pentru ionii din tabel, reprezintă un avantaj în demineralizarea apei, deoarece corespund unor afinităţi accentuate ale schimbătorilor pentru aceşti ioni. Mărimea „scăpărilor" este, prin urmare, invers proporţională cu mărimea factorului $\mathcal{K}$, dar o reţinere puternică înseamnă şi o regenerare dificilă a schimbătorului de ioni.

Acidul silicic nu figurează în tabel; tendinţa sa spre polimerizare şi insolubilizare complică considerentele teoretice legate de echilibrul chimic de schimb ionic. Valoarea coeficientului $\mathcal{K}$ pentru acidul silicic monomer ar fi, în orice caz, mai mică decît unitatea.

Coeficientul $\mathcal{K}$ se determină în laborator prin procedee standard pentru fiecare tip de schimbător şi de ciclu de lucru. Schimbătorul, de pildă un anionit puternic bazic, în ciclul de lucru OH^-/Cl^- este adus complet în forma epuizată, folosind o soluţie de NaCl de normalitate cunoscută. Se obţine astfel mărimea $[R.Cl]$. Consecutiv se tratează schimbătorul cu o soluţie de NaOH, de normalitate cunoscută şi în cantitate determinată. După un timp de contact, se titrează soluţia alcalină neconsumată în reacţie, cu o soluţie de HCl, diferenţa reprezentînd mărimea $[R.OH]$.

Cu ajutorul acestor mărimi se determină coeficientul $\mathcal{K}$, cu care se poate stabili gradul de regenerare necesar. Acesta este şi el — în conformitate cu cele menţionate mai sus — invers proporţional cu mărimea absolută a coeficientului pentru ionii luaţi în considerare.

Cînd sînt prezente în apă mai multe feluri de ioni, condiţiile atingerii echilibrului chimic de schimb ionic sînt mai complexe. În filtrul cu pat mixt intervin şi alţi factori, de natură

tehnologică : cei doi schimbători de ioni se amestecă într-o măsură oarecare ; la regenerarea internă, soluția regenerantă nu ajunge la fiecare particulă de schimbători, ca în cazul filtrelor cu pat simplu [1] și altele.

Considerentele expuse aici se referă la condițiile specifice — severe, dar simplificate — care există în partea finală a demineralizării apei, în „finisare", fie în filtre cu pat simplu, fie în filtre cu pat mixt. Pentru primele, condițiile echilibrului chimic de schimb ionic, stabilite în cele ce urmează, se referă la întreaga încărcătură de schimbători, pentru ultimele, la stratul de amestec de schimbători vecin cu ieșirea apei din filtru.

★

Exemplificările date privesc situațiile :

— apa neutră ; prezența ionilor Na^+, Cl^-, respectiv numai a $HSiO_3^-$; „scăpări" admise de ordinul de mărime ppb ;

— apa alcalinizată ; prezența ionilor Na^+, Cl^-, NH_4^+, respectiv $HSiO_3^-$, NH_4^+ ; mărimea „scăpărilor" admise de ordinul ppb.

I. *Apă neutră*

Concentrația ionilor străini prezenți — în speță Na^+ și Cl^- — este de ordinul 10^{-7} mol/kg, ca în cazul regimului chimic al apei, cu dozare de oxigen.

a) În filtre ionice cu pat simplu, de „finisare" :

— *Schimbător cationic sulfonic, în ciclul* H^+/Na^+

— $[Na^+]$ admis în efluentul filtrului : 10 ppb, respectiv $4{,}35 \cdot 10^{-7}$ mol/kg.

— $[H^+]$ din ionizarea apei : $7{,}41 \cdot 10^{-8}$ mol/kg. Această valoare este calculată din produsul ionic al apei, $\mathcal{K}_W$, la temperatura de 15°...20°C, și are valoarea : $5{,}5 \cdot 10^{-15}$. (De notat că valoarea $[H^+] = 10^{-7}$ mol/kg este valabilă numai pentru temperatura de 24°C.)

— $[R.Na]$, care simbolizează schimbătorul de ioni cu grupurile active epuizate, corespunde prin definiție la $[1 - R.H]$, exprimat în părți de unitate.

— Coeficientul $\mathcal{K} = 1{,}5$ (conform tabelului).

Efectuînd înlocuirile în expresia pentru $\mathcal{K}$, dată mai sus, se obține :

$$1{,}5 = \frac{[1 - R{\cdot}H] \cdot 7{,}41 \cdot 10^{-8}}{[R.H] \cdot 4{,}35 \cdot 10^{-7}}$$

Gradul de regenerare necesar al schimbătorului, în condițiile de lucru date, este reprezentat de expresia $[R.H]$; ea are valoarea de 0,101 părți de unitate, respectiv 10,1% din capacitatea sa totală. Cu precizarea, valabilă și pentru cele următoare, că schimbătorul este strict monofuncțional, adică are numai grupuri puternic acide, în acest caz.

Prin urmare, pentru a deplasa echilibrul chimic de schimb ionic, în acest ciclu, astfel încît să corespundă unor „scăpări" de ioni Na^+ în apa tratată de 10 ppb, este nevoie ca 10,1% din totalul grupurilor active ale schimbătorului să fie disponibile pentru schimbul ionic. Aceasta înseamnă doar o fracțiune din capacitatea utilă volumică a schimbătorului [2] și este deci o condiție relativ ușoară, putînd fi realizată în exploatare chiar cu schimbători de calitate obișnuită, respectiv cu schimbători ionici nu prea degradați.

În acest mod s-a construit curba *1* din figura 1.

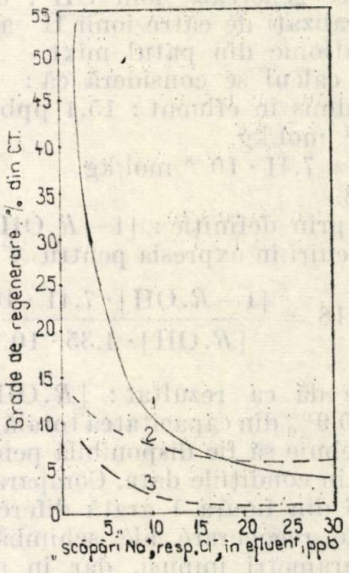


Fig. 1. Grade de regenerare necesare — apă neutră.
——— schimbător cationic; — — — schimbător anionic; *1* și *2* — în pat simplu; *3* — în pat mixt.

Cu cît performanțele cerute schimbătorului sînt mai reduse, cu atît gradul de regenerare necesar are valori mai mici, constatare valabilă și pentru celelalte cicluri de lucru.

— *Schimbător anionic puternic bazic, în ciclul* OH^-/Cl^-

— $[Cl^-]$ admis în efluent : 15,4 ppb, respectiv $4{,}35 \cdot 10^{-7}$ mol/kg.

— $[OH^-]$ din ionizarea apei : $7{,}41 \cdot 10^{-8}$ mol/kg, la care se adaugă $4{,}35 \cdot 10^{-7}$ mol/kg, corespunzător ionilor Na^+ din efluentul filtrului cationic, care, în filtrul anionic, trec în NaOH. Concentrația ionilor OH^- în apă corespunde deci la $5{,}09 \cdot 10^{-7}$ mol/kg.

— $[R.Cl]$, prin definiție $= [1 - R.OH]$.

— $\mathcal{K} = 18$ (conform tabelului).

Efectuînd înlocuirile în expresia pentru $\mathcal{K}$, se obține :

$$18 = \frac{[1 - R.OH] \cdot 5{,}09 \cdot 10^{-7}}{[R.OH] \cdot 4{,}35 \cdot 10^{-7}}$$

de unde : $[R.OH] = 0{,}061$.

Deci 6,1% din capacitatea totală a schimbătorului trebuie să fie disponibilă prin regene-

rare, pentru schimbul ionic, în condiţiile impuse în acest exemplu. Curba *2* din figura 1 arată alura variaţiei gradului de regenerare în raport cu performanţa cerută (în ce priveşte „scăpările" admise). Valorile sînt mici şi pot fi realizate cu schimbători de ioni de calitate obişnuită.

b) În filtre ionice cu pat mixt :

— Schimbătorul cationic sulfonic, în ciclul H^+/Na^+, lucrează în condiţii identice ca la pct. a). Curba *1* din figura 1 rămîne valabilă şi pentru acest caz.

— Schimbătorul anionic puternic bazic lucrează în condiţii mai uşoare decît în cazul a); scăpările de Na^+ ale componentului cationic din patul mixt generează ioni OH^-, dar aceştia sînt neutralizaţi de către ionii H^+ ai schimbătorului cationic din patul mixt.

Pentru calcul se consideră că :

$[Cl^-]$ admis în efluent : 15,4 ppb, respectiv $4{,}35 \cdot 10^{-7}$ mol/kg.

$[OH^-] = 7{,}41 \cdot 10^{-8}$ mol/kg.

$\mathcal{K} = 18$.

$[R.Cl]$ prin definiţie : $[1 - R.OH]$.

După înlocuiri în expresia pentru $\mathcal{K}$ se obţine :

$$18 = \frac{[1 - R.OH] \cdot 7{,}41 \cdot 10^{-7}}{[R.OH] \cdot 4{,}35 \cdot 10^{-7}}$$

Ceea ce dă ca rezultat : $[R.OH] = 0{,}009$, respectiv 0,9% din capacitatea totală a schimbătorului trebuie să fie disponibilă pentru schimbul ionic, în condiţiile date. Compararea curbelor *2* şi *3* din figura 1 arată diferenţa dintre gradele de regenerare ale schimbătorului la aceiaşi parametri impuşi, dar în condiţii de lucru diferite. Ambele curbe manifestă o tendinţă de aplatisare, chiar de la valori relativ mici de ioni Cl^- în efluent.

II. *Apă alcalinizată cu amoniac*

Adaosul de soluţie slab amoniacală la apa de alimentare a cazanelor de presiune înaltă este o practică generală ; valorile p*H* realizate corespund regimului chimic aplicat [3]. Concentraţia totală în ioni a apei este de ordinul 10^{-5} mol/kg.

a) În filtre ionice cu pat simplu, de „finisare" :

— *Schimbătorul cationic sulfonic* primeşte o apă care conţine, pe lîngă ioni Na^+, şi ioni NH_4^+ ; primii trebuie reţinuţi cît mai intens, asigurînd „scăpări" de ordinul ppb, cationii NH_4^+ solicită grupurile active ale schimbătorului, dar intensitatea reţinerii lor nu ridică probleme pentru exploatare.

— Valoarea coeficientului $\mathcal{K} = 0{,}77$ este dedusă din valorile coeficienţilor corespunzătoare ciclurilor parcurse de schimbător : H^+/Na^+ şi $H^+/NH_4^+ = 1{,}5 : 1{,}97 = 0{,}77$.

— $[Na^+]$ în efluent, admis 10 ppb, respectiv $4{,}35 \cdot 10^{-7}$ mol/kg.

— $[NH_4^+] = 200$ ppb, respectiv $1{,}18 \cdot 10^{-5}$ mol/kg.

— $[R.Na]$ prin definiţie $= [1 - R.NH_4]$.

Efectuînd înlocuirile în expresia pentru $\mathcal{K}$, se obţine :

$$0{,}77 = \frac{[1 - R.NH_4] \cdot 1{,}18 \cdot 10^{-5}}{[R.NH_4] \cdot 4{,}35 \cdot 10^{-7}},$$

iar $[R.NH_4] = 0{,}97$, respectiv 97% din capacitatea totală.

Chiar pentru „scăpări" mai mari de Na^+ în efluent solicitarea schimbătorului este încă mare ; pentru valori mici de Na^+ în efluent, $[R.NH_4]$ tinde spre 100%.

În figura 2, grupul de curbe trasate în linii pline arată variaţia gradelor de regenerare necesare, ale schimbătorului, în raport cu variaţia „scăpărilor" de Na^+ în efluentul filtrului (de ordinul de mărime ppb), precum şi cu conţinutul apei în amoniac.

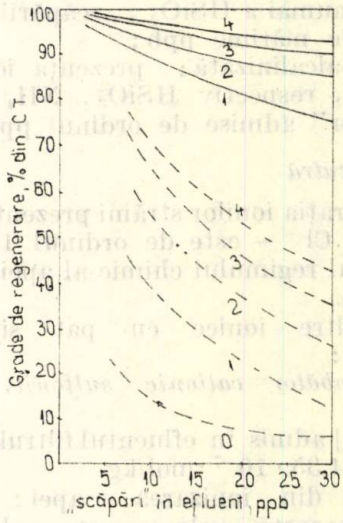


Fig. 2. Grade de regenerare necesare — apă alcalină. $[NH_3]$ppb : *0*—15 ; *1*—50 ; *2*—100 ; *3*—150 ; *4*—200. —— schimbător cationic în pat simplu sau în pat mixt ; — ·· — schimbător anionic în pat mixt.

Comparativ cu cazul I — apa neutră — apare vădită solicitarea intensă a grupurilor active ale schimbătorului de ioni. Aceasta impune menţinerea în apă a unei concentraţii mici de amoniac, cum de altfel se justifică teoretic şi se verifică practic în cazul cazanelor de abur de înaltă productivitate [3]. Alcalinizarea apei de alimentare, cu amoniac, pînă la valori net alcaline nu este deci raţională nici din punctul de vedere al solicitărilor grupurilor active ale schimbătorului. Acest lucru este valabil, în măsură ceva mai redusă, şi pentru schimbătorul anionic din patul mixt, după cum se va vedea mai departe.

— *Schimbătorul anionic, puternic bazic, de tipul I*, dintr-un filtru înseriat în etajul de „finisare" după filtrul cationic, lucrează în cazul apei alcaline în aceleaşi condiţii ca în cazul apei neutre. Cationii NH_4^+ din apă au fost reţinuţi de către schimbătorul cationic ;

anionii OH^- fiind neutralizați de cationii H^+ ai schimbătorului, apa care intră în filtrul anionic este neutră. Condițiile de solicitare ale grupurilor active anionice sînt aceleași ca cele reprezentate prin curba 2 din figura 1, gradele de regenerare fiind mici.

b) În filtre cu pat mixt :

— *Schimbătorul cationic sulfonic* lucrează în aceleași condiții ca și într-un filtru cationic cu pat simplu (vezi pct. a). Valorile gradelor de regenerare necesare sînt redate prin grupul de curbe din partea superioară a figurii 2 și au fost analizate în cele precedente.

— *Schimbătorul anionic puternic bazic.* În patul mixt el lucrează în condiții mai grele decît în pat simplu din etajul de „finisare" al unei linii de demineralizare a apei. În cazul de față, influentul filtrului are un caracter alcalin, conferit de prezența hidroxidului de amoniu.

În ciclul de lucru OH^-/Cl^-, luat ca exemplu, gradul necesar de restabilire a grupurilor active se determină în felul următor :

— Coeficientul $\mathcal{K}$ are valoarea 18 (conform tabelului).

— $[NH_3]$ în apa de tratat : 200 ppb, respectiv $1{,}18 \cdot 10^{-5}$ mol/kg.

Această valoare fiind inferioară constantei de ionizare a hidroxidului de amoniu, la temperatura de 20°C ($1{,}72 \cdot 10^{-5}$), concentrația ionilor OH^- formați corespunde întocmai concentrației de amoniac a apei.

În cazul unor concentrații mai mari de amoniac în apă, superioare valorii $1{,}72 \cdot 10^{-5}$ mol/kg (respectiv 300 ppb), aportul de ioni OH^- se calculează cu ajutorul constantei de ionizare a hidroxidului de amoniu :

$$\mathcal{K} = \frac{[NH_4^+] + [OH^-]}{[NH_4OH]},$$

$$\text{respectiv} = \frac{[OH^-]^2}{[NH_4OH]}$$

Prin urmare : $[OH^-] = 7{,}41 \cdot 10^{-8} + 1{,}18 \cdot 10^{-5}$ mol/kg, adică $= 1{,}187 \cdot 10^{-5}$ mol/kg

— $[Cl^-]$ admis în efluentul filtrului : 15,4 ppb, respectiv $4{,}35 \cdot 10^{-7}$ mol/kg.

— $[R.Cl]$ prin definiție : $[1 - R.OH]$.

Efectuînd în expresia $\mathcal{K} = \dfrac{[R.Cl] \cdot [OH^-]}{[R.OH] \cdot [Cl^-]}$ înlocuirile, se obține :

$$18 = \frac{[1 - R.OH] \cdot 1{,}187 \cdot 10^{-5}}{[R.OH] \cdot 4{,}35 \cdot 10^{-7}},$$

iar $[R.OH] = 0{,}603$, adică 60,3% din capacitatea totală a schimbătorului.

Curbele în linii întrerupte din figura 2 dau variația gradelor de regenerare necesare ale schimbătorului anionic din patul mixt, în raport cu concentrația în amoniac a apei și cu mărimea „scăpărilor" de Cl^- admise în efluent.

Aceste valori sînt sensibil mai mici decît acelea corespunzătoare pentru schimbătorul cationic ; ele sînt totuși mult mai mari decît cele necesare în cazul apei neutre (fig. 1).

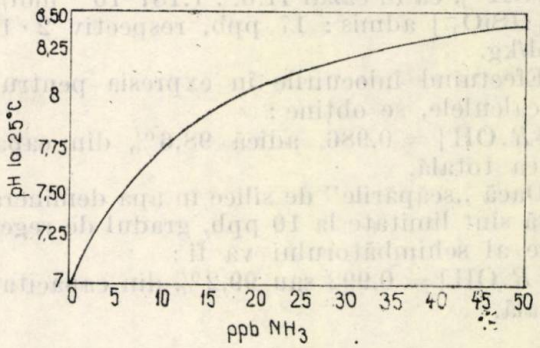


Fig. 3. Valori pH calculate ale unor soluții foarte diluate de amoniac în apă.

Menținînd în apa de alimentare un pH = 8, prin dozare de amoniac în cantitate de circa 15 ppb NH_3 (conform figurii 3), solicitarea schimbătorului anionic este mult redusă, gradul său necesar de regenerare avînd valori mici (fig. 2, curba 0).

Anionul silicic este totdeauna prezent în apă, chiar în treapta de „finisare" a demineralizării, ca și în condensatul recuperat. Din lipsă de date sigure, cum am amintit mai înainte, ne referim în exemplificările de mai jos la acidul silicic monomer, $HSiO_3^-$, iar pentru $\mathcal{K}$ admitem valoarea 0,8.

— *Schimbător anionic puternic bazic, în ciclul $OH^-/HSiO_3^-$*

a) Apa neutră ; filtre cu pat simplu sau cu pat mixt

$$\mathcal{K} = \frac{[R.HSiO_3] \cdot [OH^-]}{[R.OH] \cdot [HSiO_3^-]}$$

$\mathcal{K} = 0{,}8$.

$[OH^-] = 7{,}41 \cdot 10^{-8}$ mol/kg.

$[HSiO_3^-]$ în apă, ca „scăpări" : 17 ppb, respectiv $2 \cdot 10^{-7}$ mol/kg (conform prescripțiilor, admis $SiO_2 \leqslant 20$ ppb).

$[R.HSiO_3]$ prin definiție $= [1 - R.OH]$.

Efectuînd calculele, se obține : $[R.OH] = 0{,}316$, adică 31,6% din capacitatea totală.

Dacă $[HSiO_3^-]$ din apa demineralizată nu trebuie să treacă de 10 ppb, gradul de regenerare necesar al schimbătorului trebuie să fie de 42% din capacitatea sa totală.

În comparație cu ciclul OH^-/Cl (fig. 1, curba *2*), valorile în cazul de față sînt mult mai mari, o consecință a deosebirii mari dintre valorile respective pentru $\mathcal{K}$. Afinitatea pentru silice a schimbătorului fiind mică, reținerea

acesteia necesită mai multe grupuri active.

b) Apa alcalinizată :

— Schimbător anionic puternic bazic, încărcat în filtru cu pat mixt.

$[NH_3] = 200$ ppb, respectiv $1{,}18 \cdot 10^{-5}$ mol/kg.

$[OH^-]$, ca în cazul II.b. : $1{,}187 \cdot 10^{-5}$ mol/kg.

$[HSiO_3^-]$ admis : 17 ppb, respectiv $2 \cdot 10^{-7}$ mol/kg.

Efectuînd înlocuirile în expresia pentru $\mathcal{K}$ și calculele, se obține :

$[R.OH] = 0{,}986$, adică 98,6% din capacitatea totală.

Dacă „scăpările" de silice în apa demineralizată sînt limitate la 10 ppb, gradul de regenerare al schimbătorului va fi :

$[R.OH] = 0{,}992$ sau 99,2% din capacitatea totală.

*

Performanțele înalte ale schimbătorilor de ioni, în ceea ce privește reducerea intensă a „scăpărilor" de ioni în apa demineralizată, de ordinul ppb, necesită, teoretic și practic, îndeplinirea anumitor condiții, unele dintre acestea fiind expuse mai sus.

Din acest punct de vedere, solicitarea schimbătorilor în apa neutră este mult mai mică decît în apa alcalinizată cu amoniac, cum se practică în regimul chimic alcalin pentru cazane de presiune înaltă. În cazul din urmă, filtrul cationic, în pat simplu sau în pat mixt, este mai solicitat decît filtrul anionic.

În apa neutră, schimbătorul anionic este mai solicitat în filtrul cu pat simplu decît în filtrul cu pat mixt.

Solicitarea grupurilor active ale schimbătorilor în apa alcalină scăzînd, dacă dozajul de amoniac este redus, este prin urmare recomandabil pentru exploatare — ceea ce confirmă și considerentele teoretice — de a menține în apa de alimentare un pH pînă la cel mult 8. Preferabil însă este realizarea unui regim chimic neutru al apei.

Considerentele acestea sînt evidente din punct de vedere rațional, dar fundamentarea teoretică le conferă baza necesară de apreciere corectă, în special în cazurile complexe în care sînt prezente simultan în apă mai multe feluri de ioni, care trebuie eliminați pînă la valori de ppb.

Dacă în cursul ciclului de lucru schimbătorul este scos la regenerare cînd numai o parte din grupurile sale active sînt epuizate, gradul de regenerare realizabil este aproape total, și în consecință pot fi atinse performanțe înalte de lucru. Soluția aceasta are însă și aspecte de natură economică, care trebuie luate în considerare.

Dacă toate condițiile unei funcționări ireproșabile ale schimbătorilor de ioni sînt îndeplinite — puritatea soluției de regenerare, temperatura de lucru, viteza de percolare, granulația rășinii, condiții tehnologice etc. —, se poate afirma că :

— „scăpări" minime de ioni, de ordinul ppb, se pot asigura ușor cu apa neutră ;

— un efect similar, cu apa alcalinizată, se poate obține numai prin grade de regenerare foarte mari ;

— schimbătorii de ioni pentru „finisarea" apei trebuie să fie ca constituție monofuncționali.

În practică este recomandabil — în vederea realizării unor performanțe înalte de demineralizare a apei alcalinizate — ca filtrul cu pat mixt să fie precedat de un filtru cationic sulfonic.

*

Metodele analitice existente permit să se măsoare, în apa demineralizată, concentrații de ioni străini de ordin de mărime ppb. Pentru conductivitate, însă, apare o limitare de natură teoretică, care îngrădește folosirea acestei metode în domeniul concentrațiilor extrem de mici.

Apa teoretic pură are, la 25°C, o conductivitate de 0,04 (Kohlrausch), ca o consecință a ionizării sale. Valori semnificative se pot obține numai peste această limită teoretică.

Pentru unele substanțe în soluție, aceasta corespunde, conform figurii 4, la : NH_3 — circa

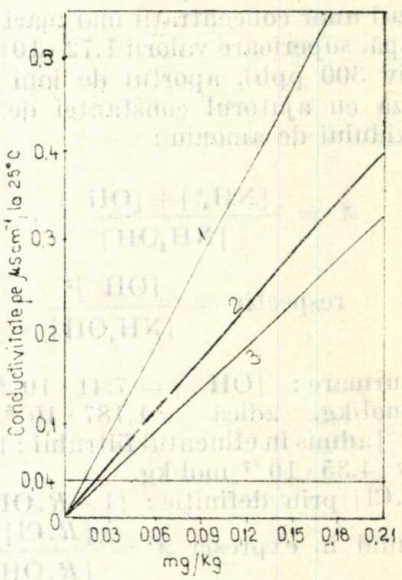


Fig. 4. Conductivitatea soluțiilor foarte diluate ale unor substanțe.

1 — soluție de amoniac ; *2* — soluție de clorură de sodiu ; *3* — soluție de sulfat de sodiu.

15 ppb ; NaCl — circa 25 ppb ; Na_2SO_4 — circa 30 ppb.

La apele alcalinizate prin amoniac, pînă la valori de $pH \leqslant 8$, nu se poate face o corelare între concentrație și conductivitate.

Bibliografie

[1] Brost, H. R. şi Martinola, F. *Austauschvorgänge im Mischbett-Filter.* VGB - Konferenz „Chemie im Kraftwerk 1979", Essen 1979.

[2] Stanisavlievici, L. *Domeniul optim de pH al schimbătorilor de ioni.* În : Energetica 20, nr. 8, 1972.

[3] Stanisavlievici, L. *Regimurile chimice ale apei pentru cazane.* În : Energetica 26, nr. 9, 1978.

(Articol intrat în redacţie la 7 iulie 1980)

Probleme legate de coordonarea izolaţiei în instalaţiile de distribuţie ale serviciilor interne din centralele electrice*)

ing. L. Bratu
dr. ing. Gh. Bălan
ing. A. Bratu
ing. R. Enache**)

Dezvoltarea sistemului energetic naţional şi apariţia centralelor electrice cu grupuri generatoare avînd puteri unitare mari (pînă la 330 MW) impun condiţii foarte severe siguranţei în funcţionare a serviciilor interne. Importanţa economică a întreruperilor în funcţionare datorită defecţiunilor a crescut proporţional cu puterea grupurilor, s-au amplificat reţelele de distribuţie de 6 kV ale serviciilor interne (SI) şi au crescut puterile unitare ale motoarelor de 6 kV, ajungîndu-se la valori de 7,2 MW. În aceste condiţii se impune examinarea coordonării izolaţiei instalaţiilor SI în raport cu solicitările reale de exploatare şi determinarea gradului de expunere faţă de aceste solicitări. Supratensiunile de comutaţie sînt solicitări curente de exploatare faţă de care, avînd în vedere actuala structură a normelor de coordonare, precum şi a reţelelor SI, este necesar să se stabilească oportunitatea creşterii gradului de siguranţă în exploatare.

1. Regimuri generatoare de supratensiuni în reţelele de distribuţie a serviciilor interne ale centralelor electrice

S-a convenit, conform reglementărilor recente de coordonare a izolaţiei, asupra clasificării solicitărilor dielectrice, în solicitări datorate :

— acţiunii tensiunii de serviciu în condiţiile normale de exploatare ;
— supratensiunilor temporare ;
— supratensiunilor de comutaţie ;
— supratensiunilor atmosferice.

Ordinea expusă este semnificativă din punctul de vedere al solicitării în timp, fără ca să se poată realiza o strictă departajare în funcţie de acest parametru şi nici în ceea ce priveşte forma de undă a tensiunii aplicate izolaţiei echipamentului (se constată asemănarea între regimurile generate de unele tipuri de supratensiuni de comutaţie cu cele atmosferice).

În cele ce urmează se vor analiza aceste solicitări, selectînd contribuţia lor la regimurile interesante pentru coordonarea izolaţiei în reţelele de distribuţie a SI ale centralelor electrice.

a) *Solicitări produse de supratensiunile temporare*

Severitatea solicitărilor produse de supratensiunile temporare se caracterizează prin durata şi amplitudinea lor în egală măsură. Regimurile care produc această categorie de solicitări sînt :

— defecte la pămînt ;
— variaţia bruscă a sarcinii ;
— rezonanţa şi ferorezonanţa.

Supratensiunile care apar la defecte la pămînt acţionează direct asupra izolaţiei reţelei de distribuţie şi se caracterizează prin durată, amplitudine, precum şi prin modul de legare la pămînt a neutrului reţelei şi factorul de defect la pămînt în punctul respectiv.

Reţeaua de distribuţie de 6 kV din SI ale centralelor electrice este în prezent, în marea majoritate a cazurilor, o reţea care funcţionează cu neutrul izolat (mai recent, în reţelele extinse neutrul se leagă la pămînt prin bobină de stingere). În aceste reţele, valorile supratensiunilor temporare sînt ridicate, de asemenea şi durata lor, dependentă de timpul de localizare şi separare a locului defect.

Variaţia bruscă a sarcinii poate conduce la supratensiuni între faze ridicate, durata şi valorile fiind dependente de sistemul deconectat şi caracteristicile sursei (puterea de scurtcircuit, comportarea regulatoarelor de turaţie şi de tensiune ale generatoarelor etc.). Valoarea şi durata supratensiunilor din această categorie, în afara factorilor menţionaţi, este dependentă şi de modul de transmitere a solicitărilor în sistemul generator-transformator propriu de servicii interne, acţiunea lor fiind indirectă.

Rezonanţa şi ferorezonanţa sînt regimuri de supratensiune care pot să apară la punerea sub tensiune sau variaţia bruscă de sarcină la elemente de reţea cu inductivităţi şi capacităţi mari. Valorile supratensiunilor din această grupă nu se pot estima în general, ele depinzînd de condiţiile strict specifice circuitelor comutate.

*) Comunicare prezentată la Sesiunea tehnico-ştiinţifică a ICEMENERG „Contribuţii la dezvoltarea energeticii româneşti", Bucureşti, 26—28 iunie 1980.

**) Autorii sînt cercetători ştiinţifici principali la ICEMENERG.

b) *Solicitări produse de supratensiuni de comutaţie*

Supratensiunile de comutaţie sînt fenomene cu durată variabilă cuprinsă în intervalul microsecunde-milisecunde. Regimurile generatoare de supratensiuni de comutaţie în reţelele de distribuţie a SI ale centralelor electrice pot fi enumerate după cum urmează :

— comutarea curenţilor capacitivi şi a curenţilor inductivi ;

— comutarea motoarelor asincrone de puteri mari ;

— defecte şi lichidarea defectelor ;

— aruncarea de sarcină.

Supratensiunile care apar la defecte şi la lichidarea lor în reţelele de 6 kV, specifice şi distribuţiei din SI, pot fi de valori foarte ridicate în momentul iniţierii defectului.

Supratensiunile datorită comutării curenţilor capacitivi şi inductivi sînt puternic influenţate de tipul întrerupătorului.

În domeniul tensiunilor 6—10 kV, comutarea curenţilor inductivi sau capacitivi conduce la supratensiuni ridicate în cazul în care întrerupătoarele funcţionează cu stingere foarte rapidă, producînd întreruperea curentului înainte de trecerea acestuia prin zero (tăierea) la orice valoare instantanee a lui. Regimuri caracteristice acestei grupe de supratensiuni sînt :

— întreruperea curentului de pornire al motoarelor ;

— întreruperea curentului de magnetizare al transformatoarelor sau bobinelor de compensare ;

— comutarea cablurilor în gol şi a bateriilor de condensatoare ;

— întreruperea curentului prin funcţionarea siguranţelor de înaltă tensiune.

Din consultarea literaturii de specialitate a reieşit că supratensiunile care apar la întreruperea curentului de pornire a motoarelor, precum şi caracteristicile întrerupătoarelor folosite pentru comutare au un rol deosebit în solicitarea dielectrică a bobinajului motoarelor.

La deconectarea curenţilor motoarelor în regim de pornire sau în regim frînat (calate), supratensiunile sînt determinate de reamorsări repetate între contactele întrerupătorului, fiind provocate de modul de lucru al acestuia (viteza de deschidere) şi de calitatea mediului de stingere.

Aceste regimuri conduc la apariţia unor variaţii bruşte de tensiune pe motor şi la apariţia, în consecinţă, a unor distribuţii de tensiune nefavorabile pe înfăşurări. Panta supratensiunilor de acest tip este de ordinul celor produse de loviturile de trăsnet, circa 1 μs.

c) *Solicitări produse de supratensiuni atmosferice*

Pentru reţelele de distribuţie aferente SI, supratensiunile din această categorie acţionează indirect, dependente de modul în care reţelele respective sînt legate la linii electrice aeriene, direct sau indirect, prin cabluri sau transformatoare. De regulă, instalaţiile de servicii interne nu sînt supuse unor solicitări prea severe, fiind considerate instalaţii neexpuse supratensiunilor atmosferice.

Instalaţiile aferente SI sînt, din punctul de vedere al structurii lor, apropiate de cele de pe platformele industriale, supratensiunile temporare şi de comutaţie putînd constitui regimuri severe de suprasolicitări, regimuri de care va trebui să se ţină seama în dimensionarea şi încercarea echipamentului cît şi la exploatarea sa.

d) *Niveluri de solicitări probabile în exploatare*

Avînd în vedere dezvoltarea şi complexitatea schemelor de distribuţie a SI din centralele cu grupuri de puteri ridicate, este necesar să se cunoască cu o mai bună precizie valorile supratensiunilor care solicită izolaţia echipamentului.

În scopul determinării supratensiunilor probabile din reţelele de distribuţie ale SI din centrale, este în primul rînd necesară realizarea unui program amplu de măsurători avînd drept obiectiv stabilirea regimurilor caracteristice pe echipamentele semnificative şi apoi, dacă se consideră oportun, iniţierea unei cercetări teoretice cu modelare matematică.

Din analiza schemelor reprezentînd alimentarea SI din centrale electrice cu grupuri de 60, 125, 200, 330 MW, se consideră regimuri probabile generatoare de supratensiuni, care necesită determinări prin probe şi măsurători, următoarele :

— comutarea în gol a transformatoarelor de alimentare a barelor de 6 kV ;

— variaţia bruscă a sarcinii grupurilor ;

— conectarea automată a alimentării de rezervă a barelor de 6 kV ;

— pornirea şi deconectarea motoarelor de puteri mari (alimentate la 6 kV) în regim de pornire.

În literatura de specialitate se citează o serie de date referitoare la valorile factorilor de supratensiune, şi anume :

— valorile maxime ale factorilor de supratensiune la întreruperea curentului de pornire a motoarelor mari pot atinge în prezenţa unei puneri la pămînt 6—7 u.r. [1], [2] ;

— valorile supratensiunilor care apar la comutarea transformatoarelor în gol avînd cabluri conectate pe MT pot atinge faţă de pămînt 4—5 u.r., iar între faze 4 u.r., putîndu-se manifesta şi fenomene de rezonanţă [3], [4] ;

— valorile supratensiunilor provenite din aruncarea sarcinii la grupurile de mare putere pot conduce la apariţia unor supratensiuni pînă la 3—3,5 u.r. (măsurate pe partea de IT a blocurilor).

Referitor la supratensiunile temporare, s-a stabilit că valorile maxime ale acestora nu depă-

şesc 1,5 u.r., durata lor fiind de ordinul minutelor-zeci de minute, depinzînd de modificarea parametrilor circuitului electric în care a apărut regimul de supratensiuni [5], [6].

e) *Condiţii specifice impuse izolaţiei*

Dacă la alegerea izolaţiei se ţine seama de solicitările reale din exploatare şi se dimensionează aceasta astfel încît, avînd în vedere şi condiţiile particulare de funcţionare (poluare, temperatură, umiditate etc.), echipamentul să aibă o durată de viaţă de 20 ani, este necesar ca riscul de amorsare la comutaţie să fie de maximum 10^{-4} pentru izolaţia în stare nouă [7].

Nivelul de ţinere al izolaţiei nu este o valoare constantă, independentă de tipul solicitării dielectrice, ci depinde foarte mult de forma tensiunii aplicate (impuls de trăsnet, de comutaţie, tensiune de frecvenţă industrială).

Faţă de aceste forme ale tensiunii de încercare, este indicat să se verifice izolaţia tuturor echipamentelor din reţeaua de distribuţie a SI, inclusiv motoarele şi transformatoarele.

În acest scop este necesar să se determine prin încercări statistice valorile de ţinere pentru izolaţiile autogeneratoare şi prin încercări la tensiunea de ţinere (pentru izolaţiile neautoregeneratoare) nivelurile de ţinere oferite faţă de supratensiunile care apar în exploatare.

2. Stabilirea nivelului solicitărilor produse de supratensiuni în reţelele SI prin încercări directe

Dintre regimurile generatoare de supratensiuni prezentate anterior, ICEMENERG a executat probe în reţelele SI pentru măsurarea supratensiunilor care apar la comutarea motoarelor mari, întrucît aceste regimuri au produs incidente de exploatare.

Pentru înregistrarea supratensiunilor din instalaţiile de distribuţie din SI, s-au realizat scheme de măsură şi înregistrare de tipul celei prezentate în figura 1.

În scopul înregistrării fenomenelor tranzitorii avînd frecvenţe cuprinse în domeniu foarte larg (kHz) şi valori ale supratensiunii de 4—7 ori tensiunea nominală fază-pămînt a reţelei, s-au utilizat divizoare ohmic-capacitive şi capacitive.

Coeficientul de divizare al tensiunii a fost adaptat nivelului tensiunii de intrare în aparatura de înregistrare din dotarea ICEMENERG, compusă din înregistratoare analogice pe bandă magnetică şi oscilografe cu bucle.

Probele au cuprins comutaţiile prezentate în tabelul 1.

În cadrul măsurătorilor realizate la IE Galaţi s-au reprodus cinci tipuri de regimuri de funcţionare nesimetrică, şi anume:

— o fază întreruptă;

— o fază întreruptă şi legată la pămînt la intrarea în cablu spre motor;

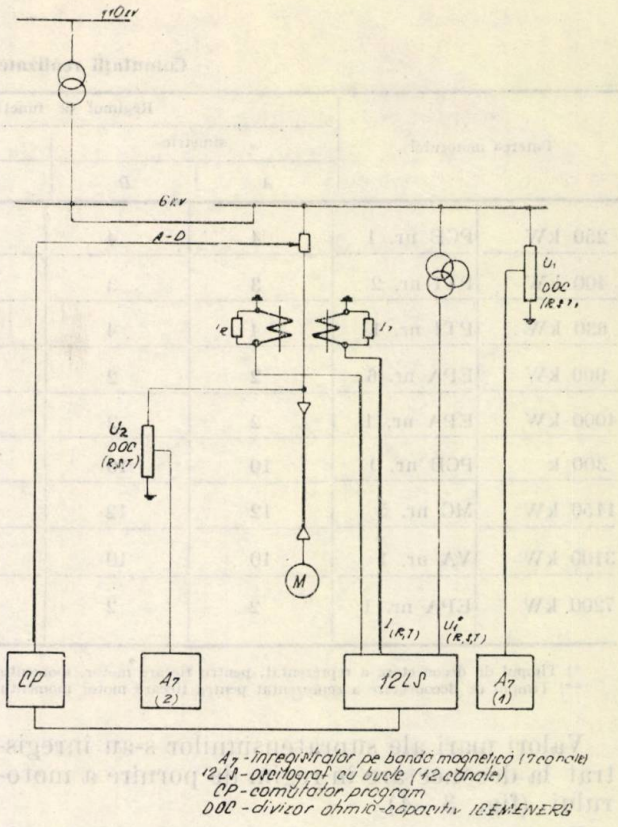


Fig. 1. Schema de măsură şi înregistrare a regimurilor tranzitorii la comutarea motoarelor asincrone.

— scurtcircuit bifazat cu punere la pămînt la bornele motorului;

— scurtcircuit trifazat la bornele motorului;

— conectarea şi deconectarea unei puneri la pămînt pe o fază pe bara de alimentare, precum şi transferul rapid pe alimentarea de rezervă.

Valorile de supratensiuni care vor fi prezentate s-au măsurat la intrarea în cablu pe derivaţia spre motor, cu divizoare de tensiune instalate în celule şi s-au notat cu $k''_{s\,max}$, spre a le deosebi de supratensiunile de pe barele colectoare notate cu $k'_{s\,max}$, determinate utilizînd de asemenea divizoare de tensiune.

Cu excepţia celor două cazuri de mai jos, supratensiunile măsurate pe barele de alimentare au avut valori reduse.

Valorile de 3,52 u.r. şi 2,00 u.r. s-au înregistrat la anclanşarea, şi, respectiv, declanşarea unui motor de 3100 kW.

Din analiza datelor din literatură se constată că regimurile maxime probabile de supratensiuni pe bare pentru instalaţii similare pot fi pînă la 4 u.r., dacă se cumulează date statistice de exploatare pentru o durată de peste 10 ani [11].

O caracteristică generală este aceea că valorile supratensiunilor la deconectarea motorului după lansare sînt foarte scăzute.

Tabelul 1

Comutații realizate pentru motoare de 6 kV

Puterea motorului		Regimul de funcționare				Timp de deconectare	Sursa de alimentare
		simetric		nesimetric			
		A	*D*	*A*	*D*		
250 kW	PCB nr. 1	4	4	—	—	*)	Trafo servicii proprii (neutru izolat)
400 kW	PTI nr. 2	3	3	—	—		
630 kW	PTI nr. 1	4	4	5	5		
900 kW	EPA nr. 6	2	2	—	—		
4000 kW	EPA nr. 1	2	2	—	—		
300 k	PCB nr. 1	10	10	—	—	**)	Trafo servicii generale (neutru tratat)
1150 kW	MC nr. 5	12	12	—	—		
3100 kW	VA nr. 1	10	10	—	—		
7200 kW	EPA nr. 1	2	2	—	—		

*) Timpul de deconectare a reprezentat, pentru fiecare motor, momentul atingerii regimului permanent și a unei valori intermediare de 660 ms.
**) Timpul de deconectare a reprezentat pentru fiecare motor momentul atingerii regimului permanent și a valorilor 150 ms, 300 ms, 500 ms.

Valori mari ale supratensiunilor s-au înregistrat la deconectare în regim de pornire a motorului (fig. 3—4).

Pentru conectare, valorile mai ridicate ale supratensiunilor s-au măsurat pentru motoarele de puteri relativ mai mari (fig. 2).

Se poate constata că regimul care generează supratensiunile este declanșarea motorului în timpul pornirii, iar supratensiunile care apar afectează în exclusivitate derivația spre motor.

Tabelul 2 se referă la comutația unui motor (630 kW) în regim de alimentare nesimetric. Se constată că la comutațiile realizate s-au produs supratensiuni atît pe bara de alimentare, cît și pe derivația motorului, avînd valori mai ridicate la deconectarea motorului alimentat în două faze.

În cazul realizării transferului pe alimentarea de rezervă, supratensiunile care s-au înregistrat au fost reduse în comparație cu regimurile de deconectare a motoarelor în timpul pornirii.

În legătură cu valorile maxime ale supratensiunilor înregistrate, trebuie menționat că s-au produs la tensiunea de alimentare în jurul valorii de 6 kV.

Astfel, supratensiunea maximă a avut o amplitudine de circa 33 kV, valoare ce reprezintă pentru echipamentul de 6 kV o solicitare foarte severă. Deoarece o parte din echipamentul cu care sînt realizate celulele au nivelul de izolație pentru 15 kV, solicitarea produsă de aceste valori ridicate de supratensiuni se resimte numai la elementele cu izolație dimensionată pentru 6 kV, în special la motor, cablu și placa de borne a acestuia.

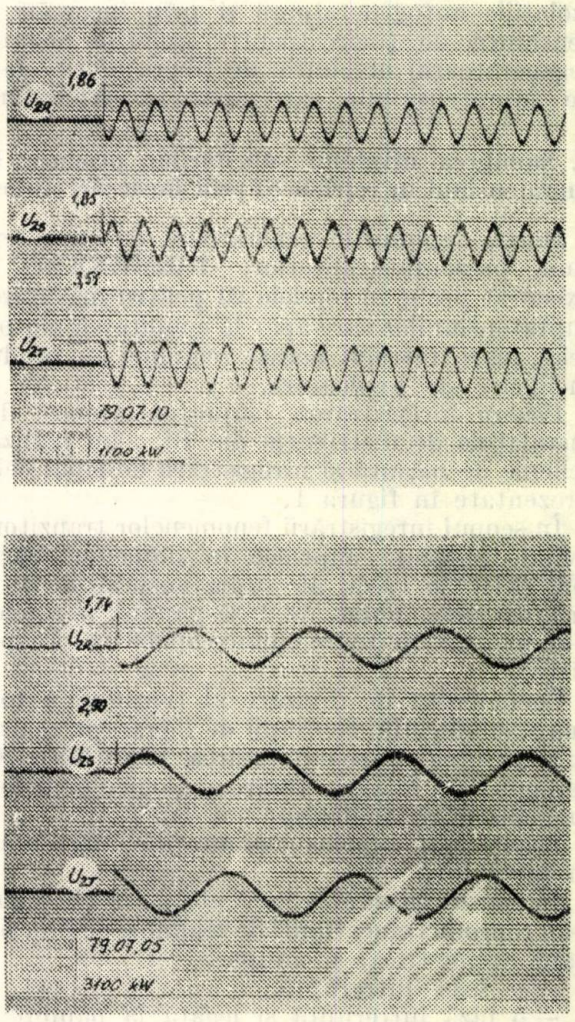


Fig. 2. Oscilograma supratensiunilor la conectarea unor motoare de 1100 și 3100 kW.

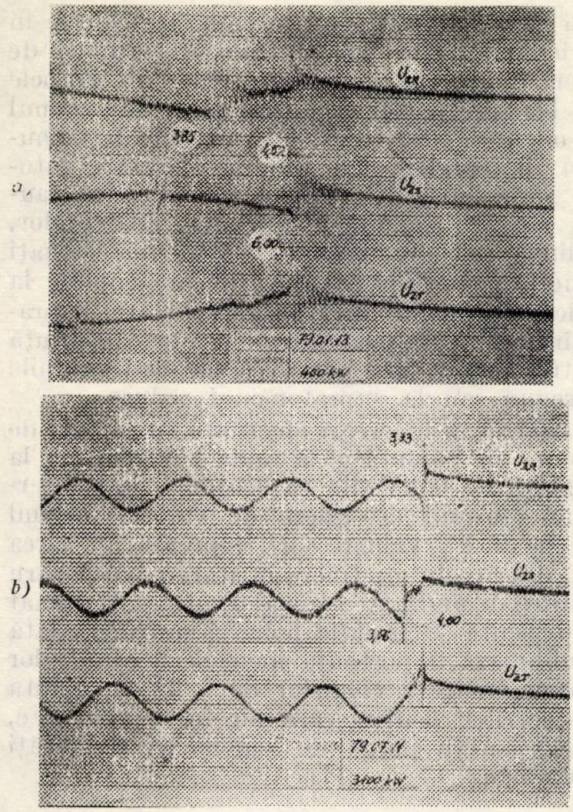


Fig. 3. Oscilograma supratensiunilor la deconectarea unui motor :
a — de 400 kW ; *b* — de 3100 kW.

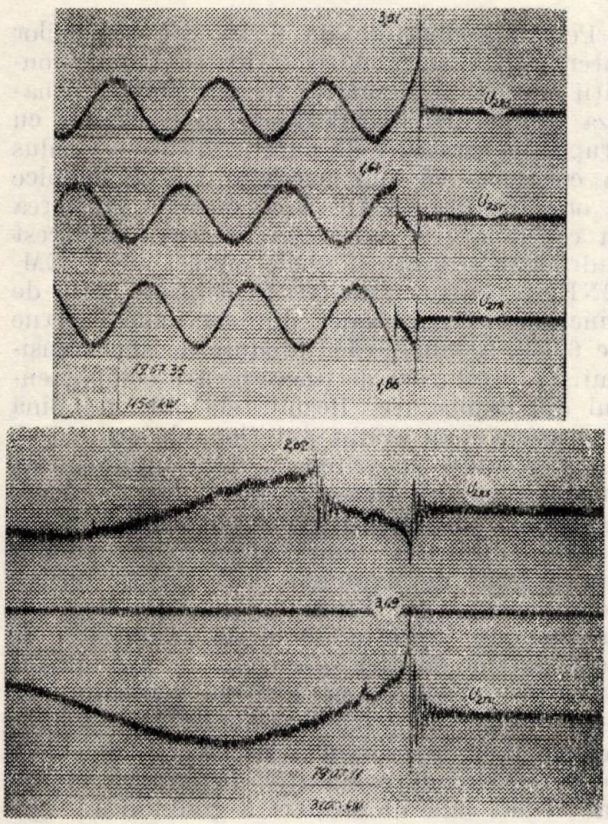


Fig. 4. Oscilograma supratensiunilor între faze la deconectarea unor motoare de 1150 și 3100 kW.

Tabelul 2

Valorile factorilor de supratensiune măsurate la comutarea motoarelor

Motor	Putere (kW)	k_s max. anclanșare	Timp anclanșare (ms)	k_s max. declanșare
PCB nr. 1	250	3,80 (T) 1,80 (T)	660 120	4,10 (T) 6,75 (T)
PTI nr. 2	400	2,00 (S)	660	6,00 (T)
PTI nr. 1	630	1,90 (T)	660	6,20 (S)
PTI nr. 6	900	2,40 (T)	660	4,40 (S)
EPA nr. 1	4000	4,40 (R)	7800	1,00
PCB nr. 1	300	1,65 (T)	500	3,10 (S)
MC nr. 5	1150	3,80 (T)	500	3,70 (S
VA nr. 1	3100	3,55 (T)	500	4,00 (T)
EPA nr. 1	7200	—	500	3,20

Cazurile în care în exploatare este posibilă declanșarea motorului în regim de pornire sînt în general următoarele :

— la pornire motorul este frînat sau blocat și protecția prin relee comandă deconectarea ;

— protecția prin relee insuficient desensibilizată la curenții de pornire ;

— comandă eronată de pornire a unui motor urmată de deconectare ;

— comenzi scurte de pornire pentru controlul sensului de rotație ;

— blocaje tehnologice.

Valorile factorilor de supratensiune determinate pînă în prezent sînt comparabile cu valorile prezentate în literatură [8], [9], [10], obținute la comutarea motoarelor cu puteri peste 250 kW cu întreruptoare cu ulei puțin ; întreruptoarele cu care s-au efectuat comutații la probe au fost de tipul IO-10 cu ulei puțin.

3. Considerații privind coordonarea izolației echipamentelor față de solicitările determinate în rețelele SI

În acest paragraf se prezintă o analiză a modului de coordonare realizat în instalațiile de distribuție ale SI, care să permită punerea în evidență a elementelor cu grad de expunere ridicat față de solicitările date de supratensiunile determinate.

În cele ce urmează se consideră izolația față de pămînt și solicitările aplicate acestei izolații. Structura rețelei va fi privită separat, și anume izolația barelor colectoare și a derivațiilor la consumator înglobînd echipamentul pînă la întreruptorul sau separatorul derivației, pe de o parte (grupa I), și derivația către motoare sau transformatoare (grupa II), pe de altă parte.

Solicitările maxime care apar pentru fiecare grupă sînt :

— grupa I —valoare înregistrată $k_s = 3{,}0$ u.r.
—valoare din literatură $k_s = 4{,}0$ u.r.
— grupa II —valoare înregistrată $k_s = 6{,}75$ u.r.
—valoare din literatură $k_s = 6-7$ u.r.

La structura actuală a normelor, prin încercarea și dimensionarea izolației echipamentele utilizate în SI ale centralelor electrice pot avea nivelurile de izolație prezentate în tabelul 4.

În raport cu aceste date se constată următoarele pentru cele două grupe menționate :

a) Grupa I. Nivelul de izolație pentru echipament permite un factor de supratensiune cuprins între valorile k_{50} și k_i, rezultînd că echipamentul de 6 kV are un grad de expunere mai ridicat, fără însă să atingă valori ridicate de risc de amorsare. Dacă izolația își păstrează caracteristicile dielectrice garantate, marja de siguranță este suficient de mare pentru a satisface un grad de siguranță suficient față de nivelul solicitărilor și forma lor.

b) Grupa II. Factorul de supratensiune admisibil rezultat din nivelul de izolație are cea mai mică valoare la motoarele de 6 kV.

În realitate, datorită faptului că solicitările cu amplitudine ridicată care apar la deconectare sînt de scurtă durată, iar încercarea izolației se face la valori de tensiune mai mici, dar cu durată mai mare (5 minute), există o rezervă de izolație care explică faptul că izolația motoarelor nu străpunge totdeauna la apariția supratensiunilor de comutație. Această rezervă de izolație nu este măsurabilă, avînd în vedere metodele de încercare aplicate în prezent pentru motoare, în acest scop fiind necesare încercări speciale cu tensiuni de impuls.

Pe de altă parte, motoarele prezintă un grad mare de risc față de panta abruptă 0,5—1 μs [8], [9], [10], care poate să apară la punerea sub tensiune și față de care încercarea cu 50 Hz a izolației lor nu poate furniza nici o indicație de comportare.

Din statistica de defecțiuni prezentată în [11], întocmită pentru 10 000 ani-motoare, rezultă că anual se avariază 5,5% din motoarele instalate în centralele mari, iar din acestea : 4% în exploatare și 1,5% la încercări profilactice. De asemenea se subliniază ineficiența încercărilor profilactice actuale.

Din tabelul defecțiunilor s-a constatat că 70% sînt străpungeri de izolație între spire sau fazele izolației statorului. Totodată se menționează că procentajul cel mai ridicat de aruncări de sarcină al grupurilor din centrale se datorește motoarelor din SI de 6 kV.

Supratensiunile care apar în exteriorul motorului produc 55% din străpungerile izolației motoarelor. Restul de 45% se produc ca urmare a degradării izolației interne și străpungerii ei ulterioare.

În țara noastră s-au produs incidente, în serviciile interne din centrale cu grupuri de puteri mari, la echipamentele din grupele I și II, care pot fi explicate prin mecanismul de solicitare prezentat mai sus, cînd la comutația motoarelor s-au produs amorsări datorate suprasolicitărilor dielectrice. Printre cauzele care au condus la apariția incidentelor, pe lîngă cele de mai sus, trebuie menționați și factorii specifici exploatării care conduc la scăderea nivelului de izolație (poluare, suprasarcină, temperatură ridicată) și în consecință la străpungeri care pot avea loc la tensiunile de regim sau la supratensiuni reduse.

Astfel, prin încercări efectuate cu impuls de tensiune de comutație la unda 250/2500 μs la instalații de 6 kV din exploatare, s-au determinat tensiuni de ținere de valori mergînd pînă la 30 kV valoare vîrf, reprezentînd circa 60% din nivelul de ținere în stare nouă pentru acest tip de undă. Aceste valori s-au determinat pe elemente cu izolație poluată sau degradată și subliniază importanța menținerii condițiilor de funcționare a celulelor de 6 kV în limita parametrilor pentru care au fost proiectate, în special din punct de vedere al umidității și poluării.

4. Considerații privind creșterea siguranței în funcționare în serviciile interne din centralele electrice

Pentru instalațiile de 6 kV ale serviciilor interne din centralele electrice se impun condiții severe de siguranță în funcționare. Analiza comportării instalațiilor din centralele cu grupuri generatoare de puteri ridicate a condus la concluzia că sînt necesare măsuri tehnice și organizatorice care să conducă la creșterea în continuare a siguranței acestora. În acest cadru s-au realizat și unele lucrări ale ICEMENERG pentru cunoașterea condițiilor reale de funcționare a izolației din serviciile interne de 6 kV, a solicitărilor produse de supratensiuni și a nivelurilor de ținere pentru echipamentul din exploatare. Rezultatele obținute pînă în prezent s-au arătat anterior, ele urmînd să fie completate în viitor cu date suplimentare prin extinderea investigațiilor. De pe acum însă s-a putut aprecia, și s-a prezentat în acest articol, influența unor factori care conduc la un grad de expunere mai ridicat pentru echipamentul din SI în raport cu solicitările produse de supratensiunile de comutație. În baza datelor de care se dispune se pot aprecia direcțiile principale pe care se poate acționa prin metode de proiectare-exploatare pentru reducerea la minimum a riscului de defect la supratensiuni de comutație. În ordinea importanței lor, căile de creștere a gradului de siguranță față de supratensiuni sînt prezentate în cele ce urmează.

Tabelul 3

Factori de supratensiune măsurați în regimuri nesimetrice de alimentare a unui motor de 630 kW—6 kV

Regimul de alimentare	Anclanșare		Timp de anclanșare (ms)	Declanșare	
	$k'_{s\,max}$	$k''_{s\,max}$		$k'_{s\,max}$	$k''_{s\,max}$
Faza S întreruptă	1,00	1,65 (T)	285	1,00	4,00 (T)
Faza T întreruptă și legată la pămînt la intrarea în cablu spre motor	1,75 (T)	1,55*) (T)	150	1,25 (S)	4,20 (T)
Scurtcirc. bifazat (RT) cu punere la pămînt la bornele motorului	2,00 (R)	1,35 (S)	140	2,10 (R)	1,00 (S)
Scurtcirc. trifazat la bornele motorului	2,60 (S)	—	160	1,65 (T)	—
Conect. și deconect. unei puneri la la pămînt pe faza S	2,90 (R)	—	530	1,30	—

*) Mărimea măsurată pe faza întreruptă la borna întrerupătorului

a) Alegerea întreruptorului pentru acționarea motoarelor. Reducerea nivelului supratensiunilor este direct legată de alegerea întreruptorului adecvat pentru acționarea motoarelor. Deși ruperea curentului de pornire a motoarelor nu este cel mai frecvent eveniment de exploatare, ea se produce totuși des, în anumite condiții conducînd la apariția celor mai mari supratensiuni și constituind un pericol pentru izolația motoarelor în primul rînd. Din acest motiv este important ca regimul respectiv să fie luat în considerare. Dacă întreruptorul este adecvat, se poate evita utilizarea mijloacelor auxiliare de protecție.

Fenomenele care însoțesc regimul de rupere a curenților de lansare, legate de stabilitatea arcului în întreruptor, sînt condiționate de constantele L și C ale curentului întrerupt, cît și ale sursei de alimentare. Din acest motiv, încercarea finală a capacității de rupere a întreruptoarelor destinate acționării motoarelor de înaltă tensiune trebuie realizată în instalații reale, încercările în laborator avînd dezavantajul că nu reproduc regimurile cele mai severe din exploatare (frecvența și viteza tensiunii de restabilire etc.).

Se constată că cele mai potrivite întreruptoare pentru acționarea motoarelor sînt: întreruptorul cu suflaj magnetic al arcului sau întreruptorul autopneumatic. Întreruptoarele cu ulei puțin și întreruptoarele cu injecție mecanică a uleiului în camera de stingere, sau întreruptoarele cu aer comprimat fără rezistențe de preinserție, nu sînt recomandabile. Întreruptoarele cu aer comprimat sau întreruptoarele cu vid asociate cu elemente de protecție RC pot conduce la un control satisfăcător al nivelului supratensiunilor, înțelegîndu-se prin aceasta factori maximi de supratensiune, de ordinul 2—3, conform referirilor din literatură [10].

b) Menținerea în stare curată a izolației echipamentului. Izolația celulelor prefabricate

Tabelul 4

Factori de referință în u.r. corespunzători tensiunilor de încercare

Tensiunea de referință $\frac{Um\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (Um) (kV)	5,9 (7,2)	9,8 (12)	14,3 (17,5)
Tensiune de încercare 50 Hz 1 min (kVef)	27	35	45
k_{50}	6,5	5,04	4,44
Tensiune de încercare 1,2/50 μs (kV_{V-V}	60	75	95
k_i	10,16	7,65	6,64

utilizate în rețeaua SI este de tip interior; din acest motiv poluarea (murdărirea sau umezirea) este un factor de o importanță deosebită în diminuarea caracteristicilor electrice ale izolației.

În special la centralele electrice care funcționează cu cărbune, murdărirea și umezirea stratului poluant conduc la scăderi foarte importante ale nivelului de ținere și în consecință la factori de risc ridicați, deoarece chiar pentru valori mici de supratensiuni sînt probabile amorsări ale izolației. Curățirea periodică a izolației, precum și menținerea în perfectă stare de funcționare a ventilației (cu filtrarea aerului la absorbție) și a altor dispozitive de etanșare (garnituri, uși etanșe etc.) pot conduce la creșteri considerabile ale siguranței de funcționare a SI.

c) Utilizarea dispozitivelor de limitare a supratensiunilor. Limitarea valorii supratensiunilor prin utilizarea dispozitivelor specializate este o măsură care trebuie justificată tehnic și economic în prealabil. În acest scop se utilizează descărcătoare speciale pentru protecția

motoarelor, baterii de condensatoare montate la bornele motoarelor, împreună cu rezistențe de preinserție montate în paralel cu contactele întreruptorului. Mijloacele de limitare trebuie alese în funcție de tipul întreruptorului și structura instalațiilor SI, funcțiile de protecție și deci efectele asupra creșterii siguranței în funcționare depinzînd de natura mijlocului de protecție, dar și de anumite condiții specifice instalațiilor protejate.

d) Încercarea cu înaltă tensiune a echipamentului. Pentru obținerea siguranței proiectate a SI este necesar să se utilizeze echipamente încercate cu înaltă tensiune în condiții cît mai reprezentative în raport cu solicitările de exploatare. Din acest punct de vedere se constată că este necesar ca izolația motoarelor să fie proiectată și încercată cu tensiuni de impuls de trăsnet și de comutație. Totodată este necesar ca, pentru verificarea siguranței izolației SI față de solicitările produse de supratensiuni, să se încerce cu impuls de tensiune de trăsnet și de comutație întregul echipament. În cadrul încercărilor prin condiții de validare severe, se va verifica capacitatea izolației de a suporta solicitările cele mai ridicate, eliminîndu-se în acest fel punctele slabe de izolație, care expun instalațiile SI la un risc mărit de apariție a amorsărilor. Reducerea riscului de amorsare este de mare importanță în creșterea siguranței instalațiilor SI, întrucît se reduce totodată și riscul expunerii celulelor prefabricate la arc liber.

Concluzii

1. S-a constatat că regimurile generatoare de supratensiuni, ale căror valori pot constitui solicitări importante pentru izolație, sînt comutațiile de motoare, și anume conectarea și deconectarea în regim de pornire.

2. Pentru motoarele de 6 kV și pentru izolația necorespunzătoare, cu un grad accelerat de îmbătrînire, sau poluată, există riscul de apariție a amorsării la supratensiunile de comutare a motoarelor și chiar la supratensiunile care apar pe barele colectoare în cazul apariției unei puneri la pămînt.

3. Din examinarea posibilităților de mărire a gradului de siguranță a instalațiilor de SI la centralele electrice rezultă ca posibile următoarele măsuri:

— încercarea la fabricant, bucată cu bucată, a celulelor aferente SI, prin aplicarea a 15 impulsuri de tensiune de trăsnet, cu condiția să nu se producă nici o amorsare pe izolația celulei;

— introducerea condițiilor tehnice și punerea la punct a metodologiei de încercare cu impuls a motoarelor, aplicarea încercării cu impuls la motoarele noi;

— întreprinderea de măsuri pentru omologarea și încercarea adecvată a unui întrerupător destinat acționării motoarelor de 6 kV;

— evitarea deconectării motoarelor în regim de pornire prin sensibilizarea corectă a protecției și prin alte măsuri de exploatare adecvate;

— curățirea izolației și efectuarea tuturor verificărilor periodice și reviziilor la termenele stabilite prin normativele de exploatare în vigoare; efectuarea de controale cît mai frecvente și remedieri dacă este cazul la celulele de 6 kV și la cutiile de borne ale motoarelor.

Bibliografie

[1] * * * IEE Committee Report. *Switching Surges.* Part I. *Phase-to-ground voltages.* În: PAS nr. 6, 1961.

[2] * * * IEE Committee Report. *Switching Surges,* Part II. *Selection of typical waves for insulation coordination.* În: Trans. PAS nr. 10, 1966.

[3] * * * IEE Committee Report. *Switching Surges.* Part III. *Field and analyzer results for transmission lines. Past, present and future trends.* În: Trans. PAS nr. 2, 1970.

[4] * * * CEI Publicația *Coordonarea izolației. Ghid de aplicare.* 71.A, 1977.

[5] * * * CIGRE—1968. *Raport special al Grupei 33. Coordonarea izolației.*

[6] * * * CIGRE-1968. *Discuții la raportul special al Grupei 33. Coordonarea statistică a izolației în rețele cu tensiuni nominale 110—400 kV.* Lucrare ISPE.

[8] * * * DIN/VDE. *Bestimmung 0111 Izolationkoordination.*

[9] Norbuck, K. ș.a. *Surtensions de manoeuvre des moteurs à induction à haute tension.* CIGRE 1964, Rap. 116.

[10] Fournier, M. P. *Essais relatifs aux surtensions de declenchement des moteurs à haute tension.* În: Bull. Soc. Franc. Electr. 1957, nr. 75.

[11] Volpov, K. D. ș.a. *Issledovaniia vnutrennih perenapriajenii v setia sobstvenih nujd elektrostanții.* În: Elektriceskie stanții nr. 8, 1976.

Supraîncărcarea transformatoarelor de distribuţie în ulei

Dr. ing. **Const. Moldoveanu**
Subing. **Victor Mănițiu**
Subing. **Raiu Marian Marinescu***)

1. Consideraţii generale

Regimul normal de încărcare a unui transformator poate fi rareori reprezentat printr-o dreaptă paralelă cu axa timpului.

În condiţii de exploatare obişnuite (mai ales la întreprinderile industriale) graficul zilnic al consumului de energie electrică este destul de neuniform, abaterile de la sarcina medie zilnică putînd ajunge la $\pm (60 + 75)\%$. De aceea, în astfel de cazuri, puterea nominală a transformatorului poate să fie mai mică decît cea maximă zilnică. Apare astfel problema capacităţii de supraîncărcare a transformatorului, datorită faptului că în acest caz, la anumite ore ale zilei, el va fi în mod inevitabil supraîncărcat. Deoarece transformatorul este supus la suprasarcini în mod sistematic, în fiecare zi este necesar să se respecte condiţia ca acestea să nu prejudicieze durata normală de funcţionare.

Orice transformator de putere se poate supraîncărca o anumită perioadă de timp, deoarece există o inerţie termică a materialelor care face să treacă o anumită perioadă de timp pînă ce acestea să atingă temperatura predeterminată (la producerea unei cantităţi de căldură), iar temperatura mediului ambiant este de regulă sub cea luată ca bază în proiectarea transformatorului pentru o anumită putere nominală.

Capacitatea de supraîncărcare a transformatoarelor este limitată de: îmbătrînirea sau deteriorarea izolaţiei la funcţionarea acestora un anumit timp la temperatură ridicată, reducerea cheltuielilor de exploatare la un nivel optim sau de căderea de tensiune admisă pe înfăşurarea secundară.

În ţara noastră condiţiile de supraîncărcare a transformatoarelor de putere sînt prescrise în STAS 1703/67 [1]. Aceste condiţii nu se mai menţin şi în noua redactare (din 1980) a acestui standard, în principiu adoptîndu-se ideea aplicării ghidului CEI de încărcare a transformatoarelor de putere în ulei [2].

În articolul de faţă se face o analiză a măsurii în care prevederile acestui ghid de încărcare pot fi aplicate la transformatoarele de distribuţie de fabricaţie românească noi sau aflate în exploatare.

*) Constantin Moldoveanu este cercetător ştiinţific principal la ICEMENERG — Bucureşti; Victor Mănițiu şi Marian Marinescu Raiu sînt subingineri la acelaşi institut.

2. Analiza ipotezelor principale luate în considerare la elaborarea ghidului de încărcare CEI

Ghidul CEI 354 dă recomandări pentru supraîncărcarea transformatoarelor de putere în ulei cu clasa de izolaţie A, în diverse condiţii de temperatură ambiantă şi de exploatare, fără să se depăşească limitele acceptabile pentru degradarea izolaţiei ca urmare a efectului termic.

La stabilirea acestor recomandări s-au avut în vedere următoarele ipoteze principale [3]—[9]:

a_1) Proprietăţile mecanice şi dielectrice ale izolaţiei celulozice în înfăşurări se înrăutăţesc ca rezultat al îmbătrînirii termice accelerate produse în perioada de supraîncărcare; este procesul care determină mărimea duratei de viaţă a tranformatorului.

a_2) Distribuţia temperaturii nu este uniformă în cele mai multe transformatoare de putere, şi de aceea partea care funcţionează la temperatura cea mai ridicată este supusă la cea mai mare îmbătrînire termică. Deci temperatura care determină viteza de îmbătrînire a izolaţiei este temperatura în punctul cel mai cald al înfăşurărilor. Aceasta nu trebuie să fie mai mare de 140°C.

a_3) Efectele îmbătrînirii termice sînt descrise de ecuaţia vitezei de reacţie chimică a lui Arrhenius, care stabileşte că durata de viaţă a izolaţiei este o funcţie de temperatura absolută.

a_4) Îmbătrînirea termică este liniar cumulativă.

a_5) Criteriul cantitativ de sfîrşit al duratei de viaţă a izolaţiei datorită îmbătrînirii termice este reducerea rezistenţei de tracţiune a hîrtiei electroizolante la jumătate din valoarea sa iniţială.

a_6) Supratemperatura uleiului creşte liniar cu înălţimea înfăşurării.

a_7) Diferenţa între temperatura uleiului la partea superioară a înfăşurării (presupusă a fi egală cu cea a uleiului la partea superioară a cuvei) şi temperatura uleiului la partea inferioară a înfăşurării (presupusă a fi egală cu cea existentă la baza instalaţiei de răcire) este aceeaşi pentru toate înfăşurările.

a_8) Supratemperatura medie a conductorului înfăşurării creşte liniar cu înălţimea înfăşurării, faţă de supratemperatura uleiului (la acelaşi nivel al înfăşurării) existînd o diferenţă constantă.

Aceste ipoteze determină existenţa unei diferenţe între capacitatea de încărcare reală a unui transformator şi capacitatea de încărcare recomandată de ghidul CEI întrucît:

b_1) Datele privind îmbătrînirea termică a izolaţiei au la bază încercările de îmbătrînire în laborator a materialelor componente, concluziile acestor încercări putînd diferi de cele rezultate din încercarea sistemelor de izolaţie

complete reprezentative pentru fiecare tip de transformator (în care se verifică performanțele materialelor corespunzător funcțiilor lor specifice în echipament) [10].

b_2) Nu se cunoaște exact temperatura în punctul cel mai cald al înfășurărilor (pe plan internațional nu s-a stabilit încă o metodă de depistare a punctelor calde și de măsurare a temperaturii în aceste zone), ea putînd să difere de valorile luate în considerare în calculele din ghid.

b_3) În calcule sînt folosiți o serie de parametri (constanta de timp termică, raportul dintre pierderile în scurtcircuit la puterea nominală și pierderile de mers în gol etc.), care pot să nu fie apropiați ca valoare de cei caracteristici unor transformatoare existente în exploatare.

Din datele menționate în literatură rezultă că, cu toate aceste limitări, în exploatare, foarte puține transformatoare de putere s-au defectat numai datorită depășirii regimului de încărcare admis de ghidurile de încărcare.

3. Supraîncălzirea temporară, accidentală sau periodică, admisibilă a transformatoarelor de distribuție de fabricație românească pentru o viteză normală de reducere a duratei de viață

Analizînd datele de calcul ale condițiilor de încărcare menționate în ghidul CEI, rezultă că aceste condiții nu pot fi folosite, în totalitate, la transformatoarele de putere de fabricație românească întrucît unul din parametrii care intră în calcule (supratemperatura maximă a uleiului la partea superioară a cuvei, la funcționarea transformatorului la puterea nominală) diferă de cel luat în considerare în proiectarea și fabricația transformatoarelor de putere conform condițiilor din STAS 1703 (55°C în ghid, față de 60°C în STAS).

De aceea s-a considerat necesar să se determine condițiile de încărcare ținînd seama de aceleași ipoteze avute în vedere la elaborarea ghidului CEI, cu excepția valorii supratemperaturii maxime a uleiului la partea superioară a cuvei, considerată a fi 60°C.

Notînd cu :

K_1 — coeficientul sarcinii de durată (anterioară sarcinii de vîrf) exprimat în fracțiune din puterea nominală $K_1 = \left(\frac{S_1}{S_n}\right)$;

S_1 — sarcina echivalentă determinată pe o perioadă de timp anterioară sarcinii de vîrf, rezultînd din prelucrarea diagramei de încărcare reală ;

K_2 — coeficientul sarcinii de vîrf admisibilă, exprimat în fracțiune din puterea nominală $\left(K_2 = \frac{S_2}{S_n}\right)$;

S_2 — sarcina de vîrf echivalentă — determinată la prelucrarea diagramei de încărcare reală pentru o perioadă de timp limitată (t_{k_2}), în care există cea mai mare parte din sarcina de vîrf reală (fig. 1) ;

t_{k_2} — durata sarcinii de vîrf echivalentă admisibilă ;

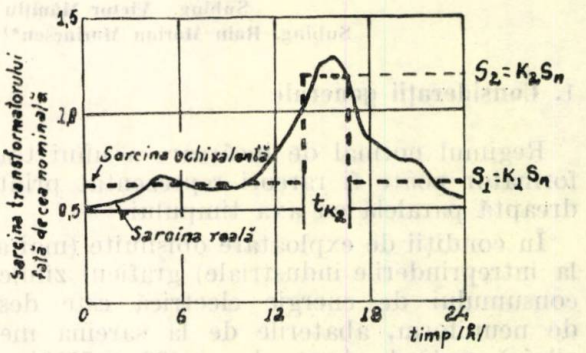


Fig. 1. Diagrama de încărcare echivalentă.

$\Delta\theta c_{k_2}$ — supratemperatura în punctul cel mai cald al înfășurărilor, cînd transformatorul se află încărcat la sarcina de vîrf echivalentă (S_2) ;

$\Delta\theta u_n$ — supratemperatura maximă a uleiului la partea superioară a cuvei, cînd transformatorul se află încărcat la puterea nominală (S_n) ;

$\Delta\theta c_n$ — supratemperatura în punctul cel mai cald al înfășurărilor, cînd transformatorul se află încărcat la puterea nominală (S_n) ;

d — raportul dintre pierderile în înfășurări la puterea nominală (S_n) și pierderile de mers în gol ;

x — exponent al raportului dintre pierderile totale și pierderile nominale (utilizat în calculul supratemperaturii uleiului) ;

τ — constanta de timp termică ulei-aer la puterea nominală ;

y — exponent al raportului diferențelor între supratemperatura în punctul cel mai cald al înfășurărilor și cea a uleiului la partea superioară a cuvei, la o putere oarecare (S) și la puterea nominală (S_n)

θ_a — temperatura medie zilnică a mediului ambiant.

Coeficientul sarcinii de vîrf admisibile (K_2) pentru un transformator de putere în ulei se determină folosind următoarea formulă [7] :

$$K_2 = \sqrt{\frac{\Delta\theta c_{k_2} - \Delta\theta u_n \left[\left(\frac{1 + dK_1^2}{1 + d}\right)^x \cdot e^{-t_{k_2}/\tau} + (1 - e^{-t_{k_2}/\tau})\left(1 - x + \frac{x}{1 + d}\right)\right] - (\Delta\theta c_n - \Delta\theta u_n)(1 - y)}{\Delta\theta u_n (1 - e^{-t_{k_2}/\tau}) \frac{xd}{1 + d} + (\Delta\theta c_n - \Delta\theta u_n) y}}$$

Rezultatele calculelor efectuate pentru transformatoarele de distribuție în ulei cu răcire tip ONAN sînt prezentate în tabelul 1.

Comparînd datele din tabelul 1 cu cele din ghidul CEI, pentru aceeași categorie de transformatoare, se observă că suprasarcinile admise, pentru transformatoarele proiectate la o supratemperatură maximă a uleiului de 60°C, sînt mai reduse decît dacă această supratemperatură este de 55°C. Deci, dacă s-ar adopta în totalitate prevederile ghidului CEI, transformatoarele construite pentru o supratemperatură maximă a uleiului la partea superioară a cuvei de 60°C ar avea o durată de viață mai mică decît cea normată (30 ani).

În instalațiile sistemului energetic național funcționează transformatoare de distribuție

Tabelul 1

θ_a [°C]	K_1	K_2					
		$t_{k_2}=1$ h	$t_{k_2}=2$ h	$t_{k_2}=4$ h	$t_{k_2}=8$ h	$t_{k_2}=12$h	$t_{k_2}=24$ h
0	0,4	1,95	1,65	1,40	1,25	1,21	1,16
	0,5	1,92	1,63	1,39	1,25	1,21	1,16
	0,6	1,89	1,61	1,38	1,25	1,21	1,16
	0,7	1,84	1,58	1,37	1,25	1,20	1,16
	0,8	1,78	1,54	1,36	1,24	1,20	1,16
	1	1,65	1,46	1,32	1,23	1,20	1,16
5	0,4	1,90	1,61	1,36	1,22	1,17	1,12
	0,5	1,87	1,59	1,36	1,22	1,17	1,12
	0,6	1,84	1,56	1,35	1,21	1,17	1,12
	0,7	1,79	1,53	1,33	1,21	1,17	1,12
	0,8	1,73	1,50	1,32	1,21	1,17	1,12
	1	1,58	1,40	1,27	1,19	1,16	1,12
10	0,4	1,86	1,56	1,33	1,18	1,13	1,08
	0,5	1,82	1,54	1,32	1,18	1,13	1,08
	0,6	1,79	1,52	1,31	1,18	1,13	1,08
	0,7	1,73	1,49	1,29	1,17	1,13	1,08
	0,8	1,68	1,45	1,28	1,17	1,13	1,08
	1	1,50	1,34	1,22	1,14	1,12	1,08
15	0,4	1,80	1,52	1,29	1,14	1,10	1,04
	0,5	1,77	1,50	1,28	1,14	1,09	1,04
	0,6	1,74	1,47	1,27	1,14	1,09	1,04
	0,7	1,68	1,44	1,25	1,13	1,09	1,04
	0,8	1,62	1,40	1,23	1,13	1,09	1,04
	1	1,40	1,25	1,15	1,09	1,07	1,04
20	0,4	1,75	1,47	1,24	1,10	1,06	1
	0,5	1,72	1,45	1,23	1,10	1,05	1
	0,6	1,68	1,43	1,22	1,10	1,05	1
	0,7	1,62	1,39	1,21	1,09	1,05	1
	0,8	1,56	1,35	1,19	1,09	1,05	1
	1	1	1	1	1	1	1
25	0,4	1,70	1,42	1,20	1,06	1,01	0,96
	0,5	1,66	1,40	1,19	1,06	1,01	0,96
	0,6	1,63	1,38	1,18	1,06	1,01	0,96
	0,7	1,56	1,34	1,16	1,05	1,01	0,96
	0,8	1,49	1,29	1,14	1,04	1,00	0,96
	1	—	—	—	—	—	—
30	0,4	1,64	1,37	1,16	1,02	0,97	0,91
	0,5	1,61	1,35	1,14	1,02	0,97	0,91
	0,6	1,57	1,32	1,13	1,01	0,97	0,91
	0,7	1,50	1,28	1,11	1,01	0,97	0,91
	0,8	1,41	1,22	1,1	1,00	0,96	0,91
	1	—	—	—	—	—	—
35	0,4	1,59	1,32	1,23	0,97	0,92	0,86
	0,5	1,55	1,30	1,1	0,97	0,92	0,86
	0,6	1,50	1,27	1,08	0,97	0,92	0,86
	0,7	1,43	1,22	1,06	0,96	0,92	0,86
	0,8	1,12	1,14	1,01	0,93	0,90	0,86
	1	—	—	—	—	—	—
40	0,4	1,53	1,27	1,12	0,93	0,88	0,81
	0,5	1,48	1,24	1,05	0,92	0,88	0,81
	0,6	1,44	1,2	1,03	0,92	0,87	0,81
	0,7	1,34	1,14	1,01	0,90	0,86	0,81
	0,8	1,11	1,02	0,89	0,85	0,83	0,81
	1	—	—	—	—	—	—

Observație. Valori ale sarcinii de vîrf S_2 mai mari de 1,5 S_n se folosesc numai cu aprobarea specială a fabricii constructoare. În caz contrar, în toate cazurile în care $S_2 > 1{,}5\ S_n$, se ia $S_2 = 1{,}5\ S_n$.

construite în diverse etape de dezvoltare a tehnologiei de fabricație și de aceea ele pot avea alți parametri decît cei folosiți în calculele menționate, chiar pentru aceeași putere nominală și raport de transformare (raportul între pierderile în înfășurări la puterea nominală și pierderile de mers în gol este în general mai mic de 5, iar constanta de timp termică este în general mai mare de 3 h).

Influența raportului dintre pierderile în înfășurări la puterea nominală și pierderile de mers în gol s-a determinat prin calcul pentru: $\Delta\theta_{u_n} = 60°C$; $\Delta\theta_{c_n} = 78°C$; $x = 0{,}9$; $y = 0{,}8$; $t_{k_2} = 1$ h; $\theta_a = 20°C$; $K_1 = 0{,}7$; $\tau = 3$ h și $d = 3$; 3,5; 4; 4,5; 5, rezultînd datele din tabelul 2.

Tabelul 2

d	3	3,5	4	4,5	5
K_2	1,626	1,625	1,624	1,623	1,622

Scăderea raportului dintre pierderile în înfășurări la puterea nominală și pierderile de mers în gol (de la 5 la 3) determină o creștere relativ mică (practic neglijabilă) a coeficientului sarcinii de vîrf admisibile.

Modul în care influențează creșterea constantei de timp termice a transformatorului asupra valorii coeficientului sarcinii de vîrf admisibile se determină prin calcul pentru: $\Delta\theta_{u_n} = 60°C$ $\Delta\theta_{c_n} = 78°C$; $x = 0{,}9$; $y = 0{,}8$; $t_{k_2} = 1$ h; $K_1 = 0{,}7$; $d = 5$; $\tau = 3$; 3,5; 4 și 4,5 h, rezultatele acestor calcule fiind cele menționate în tabelul 3.

Tabelul 3

τ[h]	3	3,5	4	4,5
K_2	1,622	1,66	1,694	1,724

Creșterea constantei de timp termice (determinată de masele mai mari ale miezului magnetic, uleiului electroizolant, înfășurărilor și cuvei, la construcțiile mai vechi de transformatoare) înseamnă condiții mai bune de răcire și deci posibilități mai mari de supraîncărcare.

Rezultă că regimul de încărcare a transformatoarelor de distribuție menționat în tabelul 1 se poate aplica și transformatoarelor de fabricație românească de construcție mai veche, ale căror condiții generale de fabricație corespund STAS 1703.

4. Supraîncărcarea accidentală (de avarie) admisibilă pentru o viteză de reducere a duratei de viață mai mare decît cea normală

La scoaterea din funcțiune a unui transformator dintr-un grup de transformatoare conectate în paralel, este posibil ca sarcina care revenea acestuia să fie repartizată între celelalte transformatoare, supraîncărcîndu-le temporar.

Condițiile concrete de exploatare determină acceptarea unui procent de uzură suplimentar, a cărui mărime depinde de valoarea și de durata suprasarcinii necesare.

Valorile limită admisibile ale sarcinilor de vîrf în condiții de avarii sînt determinate ținînd seama de condițiile nedepășirii temperaturii maxime admisibile a uleiului la partea superioară a cuvei transformatorului ($\theta_u \leqslant 115°C$) sau temperaturii maxime admisibile în punctul cel mai cald al înfășurărilor transformatorului ($\theta_c \leqslant 140°C$). Temperatura limită de 115°C a fost fixată din considerentul riscului ca, datorită dilatării uleiului la temperaturi mai mari, acesta să se reverse pe la conservator. La temperatura de 140°C se produce o degradare accelerată a izolației, care poate să determine formarea foarte rapidă fie de produse de degradare ce nu mai pot fi antrenate de ulei, fie de gaze, în ambele cazuri putînd să scadă rigiditatea dielectrică.

Condițiile de încărcare în caz de avarii, solicitate (în ultimii ani) de M.E.E. furnizorilor de transformatoare de putere, sînt cele redate în tabelul 4 (indiferent de sarcina de durată anterioară, de temperaturile mediului de răcire și de locul instalării), ele fiind similare celor din GOST 14209 [6].

Suprasarcinile din tabelul 4 sînt mai mari decît cele menționate în tabelul 1, și de aceea utilizarea lor presupune acceptarea unor viteze mult mai ridicate de reducere a duratei de viață decît în cazul funcționării în condiții normale.

Tabelul 4

K_2	1,3	1,45	1,6	1,75	2	3
t_{k_2} [min]	120	80	45	20	10	1,5

Astfel, în cazul în care suprasarcina de avarie s-a produs cînd transformatorul funcționa încărcat la sarcina nominală, vitezele de reducere a duratei de viață calculate (ținînd seama de ipotezele principale arătate), pentru regimul de încărcare de avarie amintit, sînt cele menționate în tabelul 5 [8].

Tabelul 5

K_1	K_2	t_{k_2} [min]	Viteza relativă de reducere a duratei de viață (sau de cîte ori îmbătrînește mai repede izolația în perioada de avarii față de o funcționare la puterea nominală aceeași perioadă de timp)				
			$\theta_a=20°C$	$\theta_a=25°C$	$\theta_a=30°C$	$\theta_a=35°C$	$\theta_a=40°C$
1	1,3	120	5,5	9,8	17,5	31	55,4
	1,45	80	7,3	12,9	23	41	73
	1,6	45	5,5	9,8	17,5	31,3	55,8
	1,75	20	2,9	5,2	9,2	16,4	29
	2	10	1,9	3,9	5,5	12,4	22

În cazul în care suprasarcinile sînt mai mari decît cele din tabelul 4, se poate produce scoaterea din funcțiune în foarte scurt timp a transformatorului supraîncărcat, mărindu-se astfel avaria, a cărei înlăturare se urmărea să se facă prin supraîncărcare.

Concluzii

Supraîncărcarea transformatoarelor este limitată în primul rînd de îmbătrînirea sau deteriorarea izolației, care este o funcție de timp și de temperatură.

Ghidul CEI de încărcare a transformatoarelor în ulei se bazează pe legătura dintre îmbătrînirea izolației, temperatură și timp.

Condițiile de încărcare stabilite în ghidul CEI nu se pot aplica în totalitate la transformatoarele de distribuție fabricate conform STAS 1703, datorită valorilor diferite ale supratemperaturii maxime admisibile a uleiului la partea superioară a cuvei transformatorului (la sarcina nominală), presupusă în ghidul CEI de 55°C, iar în STAS 1703 de 60°C.

Calculele efectuate, ținînd seama de ipotezele de bază ale ghidului CEI și de caracteristicile tehnice principale impuse prin STAS 1703, conduc la valori mai reduse ale sarcinii de vîrf admisibile decît valorile din ghidul CEI (pentru condiții similare de temperatură a mediului ambiant, durată a sarcinii de vîrf și sarcina de durată anterioară sarcinii de vîrf).

Bibliografie

[1] *Transformatoare de putere. Condiții generale.* STAS 1703, 1967.

[2] * * * *Loading guide for oil-immersed transformers.* Publicația 354, CEI, 1972.

[3] Moldoveanu, C. și Manițiu, V. *Verificarea capacității de supraîncărcare temporară, accidentală sau periodică a transformatoarelor de distribuție.* Lucrare de cercetare ICEMENERG, 1979.

[4] Aicher, L. C. *Loading power transformers beyong nameplate rating.* IEEE, Tutorial Course „Aplication of Distribution and Power Transformers", 1976.

[5] * * * *Guide for loading mineral oil-immersed overhead-type distribution transformers with 55°C or 65°C average winding rise.* În: ANSI C 57·91, 1971.

[6] * * * *Transformatori (i avtotransformatori) silovie masliante.* Nagruzocinaia sposobnosti. GOST 14209, 1969.

[7] * * * *Guide for loading of oil-immersed transformers.* IS 6600, 1972.

[8] Moldoveanu, C. *Instrucțiune privind supraîncărcarea temporară, accidentală sau periodică, a transformatoarelor de distribuție în ulei, de putere 1600 kVA.* Instrucțiune ICEMENERG, 1980.

[9] Grudinskovo, P. G. ș.a. *Elektrotehniceskii spravocinth,* vol. 2. Moscova, 1972.

[10] Moldoveanu C. și Manițiu, V. *Aprecierea din punct de vedere termic a calității transformatoarelor de distribuție în ulei.* În: Energetica nr. 8, p. 345–349.

(Articol intrat în redacție la 29 martie 1980)

Cercetări privind reducerea solicitărilor mecanice datorită vibraţiilor provocate de vînt în conductoarele liniilor electrice aeriene*)

ing. G. Winter
matem. V. Nicolae
matem. V. Chiroiu
ing. Al. Albrecht **)

1. Condiţiile de producere a vibraţiilor în conductoarele LEA

Conductoarele liniilor electrice aeriene au diferite tipuri de mişcări oscilante sub acţiunea curenţilor de aer. Una dintre aceste mişcări o constituie oscilaţiile sinusoidale care au loc în lungul conductorului, între doi stîlpi consecutivi, şi care se datoresc dezlipirii turbioanelor de aer de pe faţa conductorului opusă acţiunii vîntului. Acest fenomen are loc cu o frecvenţă staţionară atîta timp cît mişcarea curenţilor de aer are un caracter laminar. Într-un regim turbionar de mişcare a curenţilor de aer, dezlipirea turbioanelor de conductor devine aleatorie, iar conductorul nu mai este antrenat într-o mişcare oscilantă. Frecvenţa f de dezlipire a turbioanelor de aer şi implicit cea a mişcării conductorului depinde de diametrul D al conductorului, de viteza V a vîntului şi de numărul lui Strouhal, care în cazul liniilor electrice aeriene are valoarea 0,2, conform relaţiei :

$$f = 0{,}2\,\frac{V}{D}. \qquad (1)$$

Dacă frecvenţa mişcării oscilante a conductorului coincide cu frecvenţa proprie a unuia din modurile de mişcare a tronsonului de conductor cuprins între doi stîlpi consecutivi, atunci amplitudinea deplasării conductorului va tinde către valori mari. Sîrmele care constituie toroanele conductorului vor fi solicitate la oboseală prin încovoierea alternantă la care sînt supuse.

Asimilînd conductorul cu o bară dreaptă, de secţiune circulară, avînd diametrul D, supusă la o deformaţie sinusoidală cu o lungime de undă λ şi o amplitudine u, mărimea deformaţiei unei fibre a barei, situată pe diametrul ei exterior, va fi dată de relaţia :

$$\varepsilon = 4\pi^2 \frac{u}{\lambda^2}\,\frac{D}{2}. \qquad (2)$$

În cazul conductoarelor compuse din sîrme de aluminiu şi de oţel, primele, avînd o rezistenţă la oboseală $\sigma_{Al} = 10$ N/mm², mai mică decît cea a sîrmelor de oţel, vor fi primele care vor ceda în urma depăşirii deformaţiei admisibile. Aceasta se poate evalua cu ajutorul legii lui Hooke

$$\sigma = E\varepsilon, \qquad (3)$$

unde $E_{Al} = 6{,}8 \cdot 10^4$ N/mm² reprezintă modulul de elasticitate longitudinal al aluminiului, obţinîndu-se :

$$\varepsilon_{ad} = \frac{\sigma_{Al}}{E_{Al}} = \frac{10}{6{,}8 \cdot 10^4} = 150 \cdot 10^{-6} \qquad (4)$$

Folosind relaţiile (2) şi (4) şi cunoscînd diametrul conductorului, precum şi deschiderea liniei, se poate determina frecvenţa sau frecvenţele critice care duc la o depăşire a deformaţiei admisibile a conductorului.

Pentru a reduce amplitudinile deplasărilor conductorului se folosesc amortizoare de vibraţie, printre care cele de tip Stockbridge, redate schematic în figura 1. Acest amortizor se compune dintr-un tronson de cablu, la capetele căruia sînt încastrate două contragreutăţi. La mijlocul tronsonului de cablu există o clemă cu ajutorul căreia se fixează amortizorul pe conductor.

Amortizorul astfel fixat va descrie mişcări oscilante generate de mişcarea transmisă datorită deplasării conductorului. Energia disipată de amortizor se datoreşte frecărilor din tronsonul de cablu al amortizorului în mişcare. Pentru a stabili geometria şi dimensiunile optime ale amortizorului funcţie de dimensiunile conductorului, deschiderea panoului, tracţiunea din conductor, rigiditatea şi caracteristica disi-

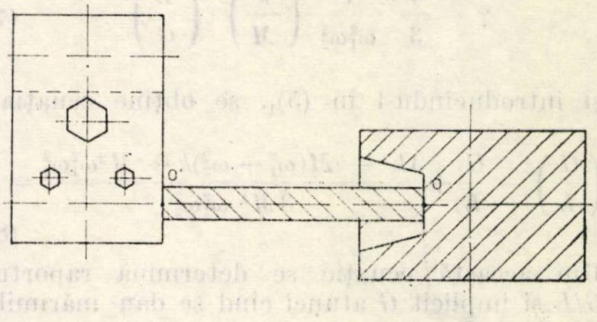


Fig. 1

pativă a conductorului, se ţine seama de următorii parametri ai amortizorului care intervin în relaţiile de calcul :

- M — masa unei contragreutăţi a amortizorului ;
- J_c — momentul de inerţie al contragreutăţii în raport cu o axă perpen-

*) Comunicare prezentată la Sesiunea tehnico-ştiinţifică a ICEMENERG : „Contribuţii la dezvoltarea energeticii româneşti", Bucureşti, 26–28 iunie 1980.

**) G. Winter, V. Nicolae şi V. Chiroiu lucrează la Institutul de fizica şi tehnologia metalelor ; Al. Albrecht lucrează la ICEMENERG.

diculară pe planul de vibrație ce trece prin centrul de masă C;

L — distanța de la clema de prindere la centrul de rotație O al contragreutății;

G — mărimea algebrică a vectorului CO;

E_aI_a — rigiditatea la încovoiere a cablului amortizorului;

k — caracteristica elastică a cablului amortizorului.

2. Determinarea caracteristicilor optimale ale amortizorului de vibrații

În scopul optimizării caracteristicilor amortizorului de vibrații, se impune ca amortizorul să aibă două pulsații proprii, ω_1, ω_2, date. Aceste pulsații se aleg astfel încît energia disipată de amortizor pe o anumită bandă de frecvențe periculoase, provenite din acțiunea vîntului asupra conductorului, să fie maximă.

Din ecuația pulsațiilor proprii ale amortizorului rezultă legătura între pulsațiile proprii ω_1, ω_2 și caracteristicile geometrice și mecanice ale amortizorului, exprimată prin relațiile:

$$\omega_1^2+\omega_2^2=\frac{4k}{M\gamma}\left[\frac{1}{3}\left(\frac{L}{G}\right)^2-\frac{L}{G}+\gamma+1\right], \tag{5}$$

$$\omega_1^2\,\omega_2^2=\frac{4k^2}{3M^2\gamma}\left(\frac{L}{G}\right)^2$$

unde

$$\gamma=\frac{J_c}{MG^2},\quad k=\frac{3E_aI_a}{L^3} \tag{6}$$

Explicitînd parametrul adimensional γ din relația $(5)_2$:

$$\gamma=\frac{4}{3}\,\frac{1}{\omega_1^2\omega_2^2}\left(\frac{k}{M}\right)^2\left(\frac{L}{G}\right)^2 \tag{7}$$

și introducîndu-l în $(5)_1$, se obține ecuația:

$$\left(\frac{G}{L}\right)^2-\frac{G}{L}+\frac{4k^2-M(\omega_1^2+\omega_2^2)k+M^2\omega_1^2\omega_2^2}{3M^2\,\omega_1^2\omega_2^2}=0 \tag{8}$$

Din această ecuație se determină raportul G/L și implicit G atunci cînd se dau mărimile M, k și L.

Din analiza semnelor rădăcinilor ecuației (8) rezultă că, dacă $G<0$, atunci $\omega_2>3{,}73\ \omega_1$. Această informație este importantă pentru optimizarea amortizorului, întrucît, în funcție de mărimea ecartului pulsațiilor proprii, trebuie realizată și poziția relativă dintre centrul de greutate C și centrul de rotație O al amortizorului, care este prin definiție pozitivă cînd centrul de greutate C este situat între punctul de încastrare în piesa de prindere și punctul de rotație O.

Dacă se cunosc caracteristicile dimensionale ale amortizorului și se determină pe cale experimentală pulsațiile proprii ω_1 și ω_2, atunci, cu ajutorul ecuației (8), transcrisă sub forma:

$$k^2-\frac{M}{4}(\omega_1^2+\omega_2^2)\,k+\frac{M^2}{4}\left[3\left(\frac{G}{L}\right)^2-3\,\frac{G}{L}+1\right]\omega_1^2\omega_2^2=0, \tag{9}$$

se poate determina valoarea rigidității cablului amortizorului.

Pentru a realiza un amortizor ale cărui pulsații proprii să aibă valori care să asigure eficiența sa în domeniul de frecvențe în care pot avea loc deformații ale conductorului ce depășesc limitele admisibile, este necesar ca frecvența proprie inferioară să se afle între 10 și 20 Hz, în funcție de diametrul conductorului care trebuie protejat. Pe de altă parte, nu este necesar ca amortizorul să lucreze la frecvențe ce depășesc 80—90 Hz, deoarece capacitatea de autodisipare a conductorului crește cu frecvența și atinge valori suficient de mari, încît peste aceste frecvențe se asigură menținerea deformațiilor în limite admisibile. Aceste condiții duc la relații restrictive pentru parametrii G și J_c, dacă se aleg parametrii M, k și L ai amortizorului. Astfel, pentru ca a doua frecvență proprie să fie în domeniul 50—60 Hz, trebuie ca momentul de inerție J_c să fie mare pentru o anumită masă M dată.

În scopul determinării unor domenii de valori acceptabile pentru masa și lungimea cablului amortizorului, atunci cînd se cunosc pulsațiile proprii ω_1 și ω_2, considerăm discriminantul (8):

$$\Delta=\frac{\left(\frac{4k}{M}-\omega_1^2\right)\left(\omega_2^2-\frac{4k}{M}\right)}{3\omega_1^2\omega_2^2} \tag{10}$$

Din condiția $\Delta>0$ rezultă:

$$\frac{4k}{M}\in[\omega_1^2,\ \omega_2^2] \tag{11}$$

Cînd prescriem lungimea cablului amortizorului, rezultă intervalul de valori din care poate fi aleasă masa:

$$M\in\left[\frac{12\,E_aI_a}{L^3\omega_2^2},\ \frac{12\,E_aI_a}{L^3\omega_1^2}\right], \tag{12}$$

iar în cazul în care masa se prescrie, rezultă următorul interval de valori posibile pentru lungimea L a cablului:

$$L\in\left[\left(\frac{12\,E_aI_a}{M\omega_2^2}\right)^{\frac{1}{3}},\ \left(\frac{12\,E_aI_a}{M\omega_1^2}\right)^{\frac{1}{3}}\right] \tag{13}$$

Atunci cînd condiția (11) este satisfăcută, ecuația (8) are o rădăcină mai mică decît 0,5, dată de relația :

$$\frac{G}{L} = \frac{1}{2}(1 - \sqrt{\Delta}), \tag{14}$$

iar valoarea minimă a acestei rădăcini este obținută atunci cînd discriminantul are valoarea maximă. Maximul discriminantului Δ este atins cînd

$$\frac{4k}{M} = \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{2}, \tag{15}$$

iar valoarea lui maximă este

$$\Delta_{max} = \frac{(\omega_2^2 - \omega_1^2)^2}{12\,\omega_1^2\omega_2^2} \tag{16}$$

Considerăm un parametru adimensional $\beta \in [0,1]$ pentru care valoarea optimă a discriminantului

$$\Delta = \beta^2\Delta_{max} = \beta^2 \frac{(\omega_2^2 - \omega_1^2)^2}{12\,\omega_1^2\,\omega_2^2} \tag{17}$$

permite obținerea unei plaje mai largi a valorilor optime ale caracteristicilor amortizorului, ținînd seama de limitele constructive impuse de geometria contragreutății.

Din identificarea relației (17) cu (10) rezultă ecuația

$$\left(\frac{4k}{M}\right)^2 - \frac{4k}{M}(\omega_1^2 + \omega_2^2) + \frac{\beta^2}{4}(\omega_2^2 - \omega_1^2) + \omega_1^2\omega_2^2 = 0, \tag{18}$$

din care se determină

$$\frac{k}{M} = \frac{1}{8}[\omega_1^2 + \omega_2^2 \pm (\omega_2^2 - \omega_1^2)\sqrt{1 - \beta^2}], \tag{19}$$

funcție numai de ω_1, ω_2 și β.

Analiza numerică a cazurilor considerate arată că pentru obținerea unui moment de inerție minim impus de geometria contragreutății, în relația (19) trebuie luat semnul minus.

Notăm

$$f(\omega_1, \omega_2, \beta) = \frac{1}{8}[\omega_1^2 + \omega_2^2 - (\omega_2^2 - \omega_1^2)\sqrt{1 - \beta^2}] \tag{20}$$

Din relația (19) scrisă sub forma

$$\frac{3E_aI_a}{L^3} = Mf \tag{21}$$

rezultă lungimea optimă a cablului amortizor atunci cînd este cunoscută masa M și rigiditatea E_aI_a a cablului

$$L = \left(\frac{3E_aI_a}{Mf}\right)^{\frac{1}{3}} \tag{22}$$

Rădăcina ecuației (8), dată de (14) și (17), devine :

$$\frac{G}{L} = p(\omega_1, \omega_2, \beta) = \frac{1}{2}\left(1 - \beta\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{\sqrt{12}\omega_1\omega_2}\right) \tag{23}$$

Această relație permite determinarea valorii

$$G = Lp \tag{24}$$

Introducînd (23) în (7), se obține :

$$\gamma = \frac{4f^2}{3\,\omega_1^2\omega_2^2p^2}, \tag{25}$$

de unde rezultă valoarea optimă a momentului de inerție

$$J_c = \gamma MG^2 = gML^2, \tag{26}$$

unde

$$g = \frac{4f^2}{3\omega_1^2\omega_2^2} \tag{27}$$

Tabelul 1

Caracteristicile amortizoarelor AV1—AV5 rezultate din calcul și experimentări

	M [kg]	G [m]	Jc [kg.m²]	L [m]	k [N/m]	f_1 [Hz]	f_2 [Hz]
AV1	1,406	−0,01205	0,001472	0,1275	27 500	18,35	122,82
AV2	1,596	0,00241	0,003095	0,1525	34 100	21,70	99,72
AV3	2,008	−0,00421	0,004371	0,170	40 500	19,99	101 87
AV4	2,877	−0,00291	0,008896	0,175	37 130	15,89	74,77
AV5	3,457	0,0123	0,008548	0,210	21 488	10,91	70,34

Tabelul 2

Caracteristicile optime ale amortizoarelor de vibrații cu frecvențele proprii $f_1 = 15$ Hz ; $f_2 = 60$ Hz ; $\beta = 0{,}60$

$\frac{M[kg]}{k[N/m]}$	$3EI$ [N/m²]	L [m]	J [kg.m²]	G [m]
1 / 5552	50	0,208	0,001409	0,0365
	75	0,238	0,001846	0,0417
	100	0,262	0,002237	0,0459
1,25 / 6940	50	0,193	0,001518	0,0338
	75	0,221	0,001989	0,0387
	100	0,243	0,002410	0,0426
	125	0,262	0,002796	0,0459
1,5 / 8327	50	0,182	0,001613	0,0319
	75	0,208	0,002114	0,0365
	100	0,229	0,002561	0,0401
	125	0,247	0,002971	0,0432
	150	0,262	0,003355	0,0459
	175	0,276	0,003718	0,0484
1,75 / 9715	50	0,173	0,001698	0,0303
	75	0,198	0,002225	0,0346
	100	0,218	0,002696	0,0381
	125	0,234	0,003128	0,0411
	150	0,249	0,003532	0,0436
	175	0,262	0,003914	0,0459
	200	0,274	0,004279	0,0480
2,00 / 11103	50	0,165	0,001775	0,0289
	75	0,189	0,002326	0,0331
	100	0,208	0,002818	0,0365
	125	0,224	0,003270	0,0393
	150	0,238	0,003693	0,0417
	175	0,251	0,004093	0,0439
	200	0,262	0,004474	0,0459
2,25 / 12491	50	0,159	0,001846	0,0278
	75	0,182	0,002420	0,0319
	100	0,200	0,002939	0,0351
	125	0,215	0,003409	0,0378
	150	0,229	0,003841	0,0401
	175	0,241	0,004256	0,0422
	200	0,252	0,004653	0,0442
2,50 / 13879	50	0,153	0,001912	0,0269
	75	0,175	0,002506	0,0308
	100	0,193	0,003036	0,0338
	125	0,208	0,003523	0,0365
	150	0,221	0,003978	0,0387
	175	0,233	0,004409	0,0408
	200	0,243	0,004819	0,0426
2,75 / 15267	50	0,149	0,001974	0,0260
	75	0,170	0,002587	0,0298
	100	0,187	0,003134	0,0328
	125	0,202	0,003636	0,0353
	150	0,214	0,004106	0,0375
	175	0,225	0,004551	0,0395
	200	0,236	0,004975	0,0413
3,00 / 16655	50	0,144	0,002032	0,0253
	75	0,165	0,002663	0,0289
	100	0,182	0,003226	0,0319
	125	0,196	0,003743	0,0343
	150	0,208	0,004227	0,0365
	175	0,219	0,004685	0,0384
	200	0,229	0,003121	0,0401

Se observă că pentru valoarea maximă $\beta = 1$ se obține o valoare minimă pentru G, dar în cazurile considerate de noi se obțin valori prea mici ale lungimii cablului amortizorului, nerealizabile din punct de vedere constructiv. De asemenea, pentru momentele de inerție se obțin valori prea mari. Pentru optimizarea amortizorului, care să aibă frecvențele proprii $f_1 = 15$ Hz, $f_2 = 60$ Hz, s-a ales $\beta = 0{,}6$. Calculele numerice au arătat că pentru alte valori ale parametrului se obțin fie lungimi prea mici (pentru $\beta > 0{,}6$), fie valori prea mari pentru G (cînd $\beta < 0{,}6$).

În tabelul 1 sînt date elementele geometrice și mecanice ale amortizoarelor AV1 — AV5, rezultate din calcul și experimentări (fig. 2).

În tabelul 2 se dau caracteristicile optime ale amortizoarelor pentru 9 valori impuse masei contragreutății și 7 valori ale rigidității cablului amortizor. În cazul în care valorile momentelor de inerție au depășit valorile maxime estimate, caracteristicile optime nu au fost luate în considerare, deoarece nu pot

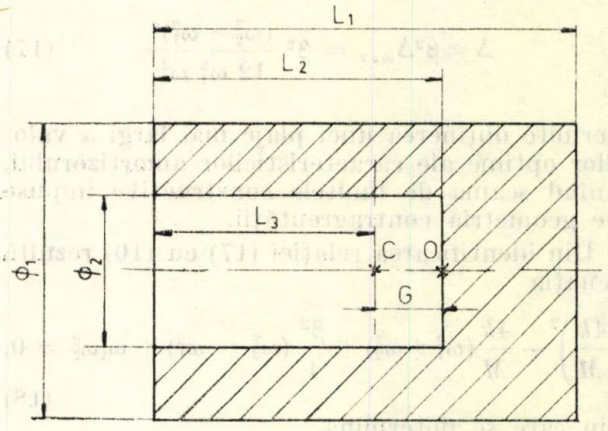


Fig. 2

fi realizate constructiv. Pentru mase mai mic decît 1 kg, calculele au arătat că sînt necesare cabluri mai subțiri de 10,5 mm în diametru, care să aibă rigiditatea sub 17 Nm².

Bibliografie

[1] * * * *Modernizarea amortizorului de vibrații pentru LEA de înaltă tensiune, aflat în producție de serie la ICMP București.* Contract de cercetare între IFTM și ICEMENERG București, 1979.

[2] Claren, R. și Diana, G. *Mathematical analysis of transmission line vibration.* In : IEEE T.P., PAS-88, nr. 12, dec. 1969.

[3] Diana, G. și Falco, M. *On the forces transmitted to a vibrating cylinder by a blowing fluid.* În : Meccanica, VI, nr. 1, 1971.

Continuitatea instalațiilor energetice în zona Grozăvești—București

ing. O. Țuțuianu *)

Motto: „Aruncîndu-ne o privire în trecutul tehnicii, avem multe de învățat"
Dimitrie Leonida

În partea de nord-vest a municipiului București, pe malul drept al rîului Dîmbovița, în amonte de podul Cotroceni, se află cartierul Grozăvești. În această zonă, care cu 90 de ani în urmă constituia o margine a orașului, a apărut unul dintre primele nuclee ale energeticii românești.

Apariția primelor instalații producătoare de energie electrică în zona Grozăvești se înscrie pe linia începuturilor utilizării electricității în capitala țării. După cum este cunoscut, Bucureștiul a făcut cunoștință cu aplicațiile practice ale electricității încă din 1882, la scurt timp după ce Thomas Edison punea în funcțiune la New York întîia centrală electrică din lume [1]. Primele instalații de producere a energiei electrice în București au fost amplasate într-o magazie în spatele palatului din Calea Victoriei în vederea alimentării unei expoziții de iluminat electric cu lămpi cu arc, organizată în interiorul palatului din Calea Victoriei și în exteriorul palatului Cotroceni.

Pentru transportul energiei electrice la Cotroceni s-a construit prima linie aeriană, care străbătea străzile Știrbei Vodă, Plevnei, Cotroceni și Panduri.

Rezultatele încurajatoare obținute cu ocazia primelor experimentări, precum și modernizarea soluțiilor tehnice adoptate inițial (înlocuirea lămpilor cu arc prin lămpi cu incandescență) au condus la extinderea iluminatului electric pentru care era nevoie de noi surse. În 1885 se construiește a doua centrală electrică la Teatrul Național. Au urmat o serie de alte asemenea modeste instalații amplasate la Abator, Stabilimentul fîntînilor de la Mihai Vodă, Clădirea Eforiei, Monetăria statului de la șosea etc., menite să asigure iluminatul unor instituții și al „bulevardelor, cheiurilor și stradelor centrale ale orașului" [1].

Menționăm că, în urma strămutării la Castelul Peleș din Sinaia a primului generator electric instalat la palatul din Calea Victoriei, iluminatul palatului Cotroceni s-a asigurat dintr-o instalație proprie, care utiliza motoare cu gaz aerian pentru antrenarea dinamurilor și prima baterie de acumulatoare folosită în România [2].

Paralel cu începuturile electrificării se execută și primele lucrări de canalizare și alimentare cu apă potabilă a Capitalei.

*) Ing. Ovidiu Țuțuianu lucrează la Direcția tehnică din Ministerul Energiei Electrice.

În acest scop, în 1889 se pune în funcțiune în zona Grozăvești o instalație de pompare a apei potabile, dotată inițial cu două grupuri de pompe acționate de turbine hidraulice tip Girard, a cîte 180 CP.

Turbinele hidraulice erau alimentate din rîul Dîmbovița, printr-un canal acoperit, avînd priza la stăvilarul Ciurel. Ele prelucrau un debit de 2,8 m^3/s la o cădere de 7,34 m. Fiecare turbină acționa printr-un excentric un grup de șapte pompe cu piston, orizontale, amplasate deasupra turbinei.

Același an, 1889, marchează actul de naștere al primelor instalații producătoare de energie electrică de pe amplasamentul Grozăvești [1]. Ele constau din două dinamuri de 600 V, 600 rot/min, acționate de două turbine hidraulice tip Girard (similare cu cele care antrenau pompele), instalate tot în clădirea uzinei de apă (fig. 1.).

Instalațiile respective urmau să preia alimentarea iluminatului public (centralele electrice provizorii, amintite mai înainte, fiind demontate), precum și a liniei de tramvai electric Cotroceni-Obor, una din primele de acest fel din Europa, dată în exploatare în 1894.

O serie de greutăți survenite în exploatarea „Uzinei hidraulice de la Grozăvești", cauzate de „nisipul care ridică patul rîului și sabla turbinele, de înghețarea apei în timpul iernii, de lipsa de apă vara etc.", au condus la dese întreruperi, care afectau consumatorii de energie electrică, dar mai ales consumatorii de apă.

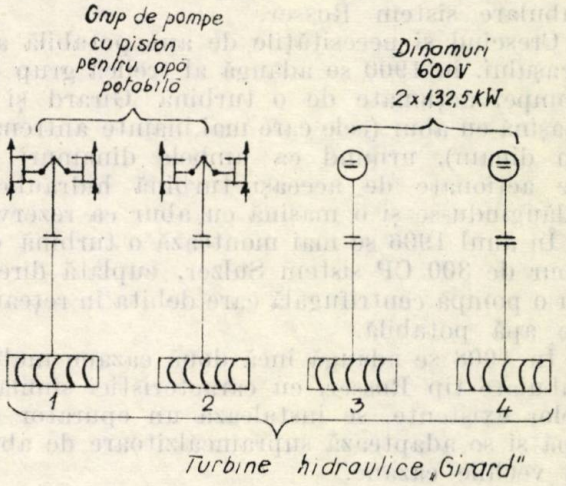


Fig. 1. „Uzina hidraulică Grozăvești" — schema mecanică, 1889.

În aceste condiții, pentru creșterea siguranței în alimentarea consumatorilor s-a recurs la mașini cu abur (fig. 2).

Astfel, încă în 1891 se instalează în cadrul Uzinei hidraulice Grozăvești, pentru acoperirea cererilor privind iluminatul electric, o mașină cu abur orizontală, monocilindrică, cu distribuție sistem Rider, cu dublu efect, fără conden-

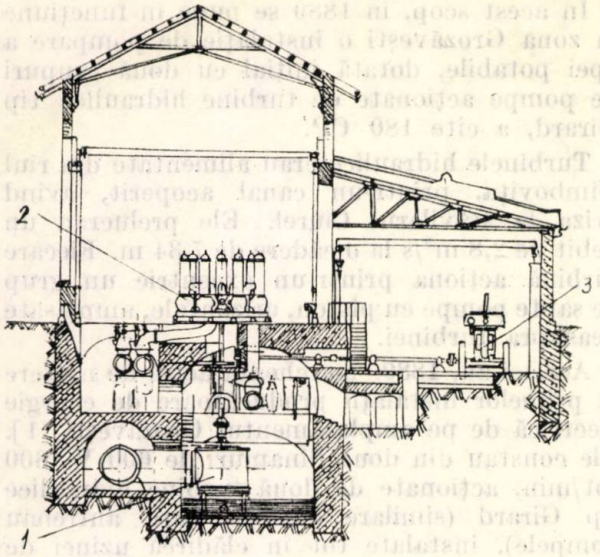


Fig. 2. „Uzina hidraulică Grozăveşti" — secţiune transversală, 1897.
1 — turbină hidraulică Girard; 2 — grup de pompe; 3 — maşină cu abur

sator, de 125 CP la 120 rot/min, alimentată cu abur de 8 at produs de un cazan acvatubular tip Rosser, avînd suprafaţa de încălzire de 220 m² şi debitul de 8 t/h. Maşina cu abur antrena prin curea de transmisie două generatoare de curent continuu de 600 V.

În 1897 se mai montează patru cazane şi patru maşini cu abur de 200 CP la 135 rot/min. Maşinile erau de tipul vertical, cu dublă expansiune şi cu condensatoare, fiind alimentate cu abur de 8 at, produs de patru cazane acvatubulare sistem Rosser.

Crescînd şi necesităţile de apă potabilă ale oraşului, în 1900 se adaugă al treilea grup de pompe, acţionate de o turbină Girard şi o maşină cu abur (cele care mai înainte antrenau un dinam), urmînd ca ambele dinamuri să fie acţionate de aceeaşi turbină hidraulică, adăugîndu-se şi o maşină cu abur ca rezervă.

În anul 1906 se mai montează o turbină cu abur de 300 CP sistem Sulzer, cuplată direct cu o pompă centrifugală care debita în reţeaua de apă potabilă.

În 1908 se adaugă încă două cazane multitubulare tip Rosser, cu caracteristici similare celor existente, se instalează un epurator de apă şi se adaptează supraîncălzitoare de abur la vechile cazane.

Către anul 1912, Uzina hidraulică Grozăveşti se transformă radical, înlocuindu-se vechile turbine hidraulice şi maşinile cu abur prin electropompe, rămînînd astfel numai ca uzină de apă.

Menţionăm că în scopul satisfacerii creşterii continue a cererii de apă potabilă a oraşului, pe lîngă instalaţiile de pompare din Grozăveşti s-a mai pus în funcţiune, în 1901, staţia de pompare a apei din puţurile de la Bragadiru. Motoarele electrice care acţionau pompele acestei staţii erau alimentate dintr-o nouă centrală electrică, construită lîngă Uzina hidraulică Grozăveşti, pe baza proiectului întocmit de inginerul român Elie Radu. Instalaţiile principale ale „Uzinei electrice a instalaţiunilor Bragadiru" sînt prezentate în schema termică de principiu din figura 3.

Această uzină a funcţionat pînă în 1912, cînd, pe amplasamentul Grozăveşti, începe să producă primele cantităţi de energie electrică Uzina electrică comunală (cu turbine cu abur).

Uzina electrică comunală Grozăveşti, denumită astfel deoarece a fost construită de primăria Capitalei, a fost proiectată de inginerul Dimitrie Leonida. Ea trebuia să asigure alimentarea cu energie electrică a instalaţiilor de captare şi pompare a apei potabile, a atelierelor şi serviciilor comunale (la 208 V prin transformare de la 5000 V), a reţelei de tramvaie electrice (la 800 Vc.c. prin redresare de la 5000 Vc.a.) şi a iluminatului unui sector din oraş în apropierea Abatorului, „unde se presupunea că se va face o instalaţie de ars gunoaie cu recuperarea căldurii şi transformarea ei în energie electrică" [3].

Prima etapă a lucrărilor începute în 1910 se termină în ianuarie 1912. Pe amplasamentul în care se găseşte astăzi CET Grozăveşti s-a clădit în această etapă o suprafaţă de 425 m², care adăpostea instalaţiile de bază, arătate în schema termică de principiu din figura 4.

În 1913—1914 se instalează un al treilea grup turbogenerator de 2000 kW (acest grup a funcţionat pînă la casarea sa în 1940). Totodată se montează alte patru cazane tip BW (nr. 5—8) de cîte 300 m² suprafaţă de încălzire, care produceau abur de 15 ata şi 350°C. Combustibilul folosit era păcura. Apa de răcire a condensatoarelor se lua din Dîmboviţa, utilizîndu-se aducţiunea de la Ciurel, care servise turbinelor hidraulice din Uzina hidrau-

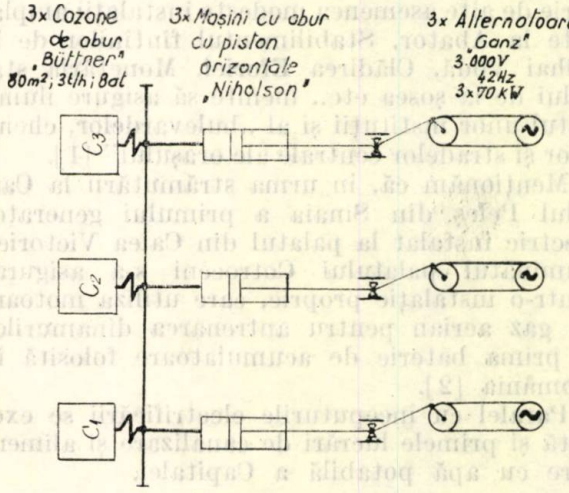


Fig. 3. „Uzina electrică a instalaţiilor Bragadiru" — schema termică, 1901—1912.

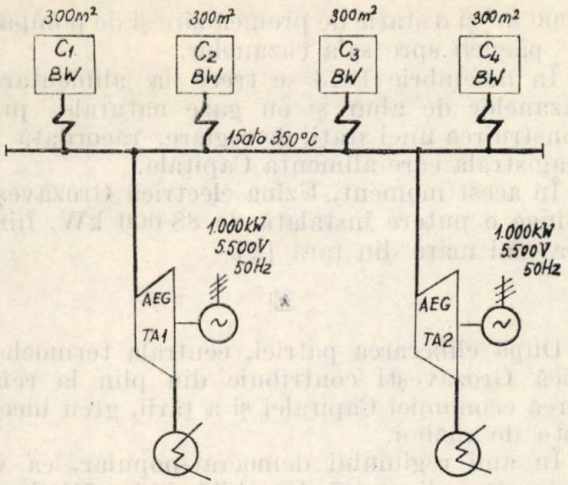


Fig. 4. Uzina electrică comunală Grozăveşti — schema termică, 1912.

lică Grozăveşti. Apa de adaos pentru alimentarea cazanelor de abur se lua din reţeaua oraşului, tratîndu-se iniţial cu var şi sodă şi ulterior cu fosfat trisodic.

După declararea primului război mondial (1914), avînd în vedere că Uzina comunală Grozăveşti dispunea de o apreciabilă rezervă de putere (4000 kW instalaţi faţă de 800 kW consum maxim), s-a perfectat o înţelegere între Primăria capitalei şi SGGEB — proprietara Uzinei electrice Filaret şi reţelei de distribuţie din oraş —, în scopul preluării alimentării din uzina Grozăveşti a unei părţi din reţeaua oraşului [10].

După ocuparea Bucureştiului de către germani în noiembrie 1916, aceştia au oprit funcţionarea grupurilor din Grozăveşti, lăsînd în exploatare motoarele Diesel din Uzina electrică Filaret, care consumau mai puţină păcură. Din aceleaşi considerente de reducere a consumului de păcură, folosită de ocupanţi în scopuri militare, cu ocazia instalării la Grozăveşti a două noi cazane de abur tip BW (nr. 9 şi 10), de 450 m² suprafaţă de încălzire, cu parametrii aburului 15 ata şi 350—380°C, s-a procedat la echiparea lor cu grătare pentru arderea lignitului (la terminarea războiului instalaţiile au fost refăcute pentru arderea păcurii) [3].

În toamna anului 1922 începe o nouă etapă de extindere a Uzinei electrice Grozăveşti. La 15 noiembrie 1924 se pune în funcţiune un grup turbogenerator tip BBC de 4000 kW (nr. 4), care ulterior va fi cunoscut sub denumirea de „maşină de casă" (TA-SI sau A2). Totodată s-a trecut la repararea primelor două grupuri (cele de 1000 kW), cărora li s-au înlocuit vechile turbine cu abur sistem AEG, cu două turbine noi sistem BBC, de cîte 1100 kW, cu parametrii aburului la intrare 15 ata şi 350°C. În acelaşi an se amenajează clădirea staţiei electrice de transformare de 60/5 kV. Prin intermediul acesteia şi al unei LEA de 60 kV, Uzina electrică Grozăveşti s-a interconectat cu uzinele termoelectrice Floreşti şi Cîmpina.

Între 1923—1925 se instalează încă două cazane de abur tip BW de cîte 550 m² suprafaţă de încălzire, 15 ata, 350—380°C (nr. 11 şi 12).

La 20 decembrie 1926 se pune în funcţiune un turbogenerator de 10 400 kW, 15 ata, 350—380°C (nr. 5).

În 1927 se construieşte primul turn de răcire din lemn cu o capacitate de 3600 m³/h, iar cazanele nr. 1 —4 şi 5—8 se reconstruiesc, în vederea creşterii debitului de abur şi îmbunătăţirii randamentului.

În 1928 se procedează identic cu cazanele nr. 9 şi 10, cărora li se măreşte suprafaţa de încălzire de la 450 m² la 575 m².

Tot în 1928 are loc o nouă mărire a clădirii principale, în vederea instalării a încă patru cazane de abur, respectiv a încă două turbogeneratoare. Se montează mai întîi, în acelaşi an, două cazane BW de cîte 650 m² suprafaţă de încălzire, debit de abur 18 t/h la 20 ata şi 380—400°C (nr. 13—14).

La 1 februarie 1929 se pune în funcţiune turbogeneratorul BBC de 16 000 kW, 15 ata, 350—380°C (nr. 6). În cursul aceluiaşi an se construieşte al doilea turn de răcire din lemn, cu aceleaşi caracteristici tehnice ca şi primul.

În 1930 se construieşte staţia de 110 kV, prin intermediul căreia, printr-o LEA de 110 kV (prima linie construită la această tensiune în ţara noastră şi singura de acest gen pînă în 1951), se făcea legătura cu Uzina hidroelectrică Dobreşti. Menţionăm că tot prin LEA arătată mai sus şi prin intermediul staţiei de transformare 60/110 kV de la Tîrgovişte s-a făcut conexiunea între uzina termoelectrică Schitu-Goleşti şi uzina Grozăveşti.

Aceste instalaţii au constituit primul nucleu al viitorului sistem electroenergetic naţional [2].

Între anii 1930 — 1932 se construiesc staţiile electrice de distribuţie de 5 kV şi 30 kV, iar vechiul tablou de comandă amplasat la capătul sălii maşinilor este înlocuit cu o cameră de comandă electrică.

Totodată staţia de legătură cu uzinele termoelectrice Floreşti şi Cîmpina (60/5 kV) se înlocuieşte cu o staţie de 110/30 kV. Această staţie va alimenta, începînd cu anul 1931, noua reţea de transport de 30 kV a Capitalei, constituită din linii în cablu şi staţii de trafo 30/5 kV — Grozăveşti, Obor, Filaret şi Griviţa.

Între anii 1931—1932 se instalează două cazane BW (construcţie Borsig-Wolf), cu suprafaţa de încălzire de 750 m², debit de abur de 30 t/h la 20 ata, 380—400°C (nr. 15—16), secţionale, neecranate cu tambur transversal.

În 1935—1936 se instalează alte două cazane BW (construcţie Vulcan), de cîte 400 m² suprafaţă de încălzire, 32 t/h la 20 ata, 380—400°C,

secţionale, ecranate cu tambur transversal, separator de abur şi răcitoare pentru reglarea temperaturii aburului (nr. 17 şi 18), pe vechiul loc ocupat mai înainte de cazanele nr. 5—8, care au fost demontate.

Toate cazanele foloseau drept combustibil păcură, injectată la o presiune de 10—12 kgf/cm^2.

La începutul anului 1936, cele două grupuri de 1100 kW montate în 1924 au fost demontate, iar la 18 septembrie 1936 se pune în funcţiune turbogeneratorul BBC de 20 000 kW la 20 ata, 380—400°C (nr. 7), cel mai mare grup din ţară la acea dată [2]. Tot în acelaşi an se operează o serie de modificări pentru îmbunătăţirea performanţelor agregatelor. Astfel, turbina nr. 4 de 4000 kW este trecută de la parametrii 15 ata şi 350°C la 20 ata şi 380°C, putînd fi supraîncărcată la 5000 kW, iar la turbina nr. 6, prin aceeaşi modificare, puterea instalată creşte de la 16 000 la 20 000 kW. Turbina nr. 5 se înlocuieşte cu una nouă, avînd 12 500 kW, la parametrii aburului 20 ata şi 380°C, generatorul rămînînd acelaşi.

De asemenea, se sistematizează serviciile interne şi se instalează un al treilea turn de răcire, construit de data aceasta din beton armat sub formă de hiperboloid.

În 1939 încep lucrările de transformare a sălii cazanelor în vederea instalării a două cazane tip Löffler. Pentru crearea spaţiului necesar montării acestor cazane şi instalaţiilor anexe, se demontează vechile cazane nr. 1—4 şi nr. 9—12.

Cazanele Löffler-Witkowitz (nr. 3 şi 4), cu circulaţie forţată a aburului şi vaporizare indirectă, avînd un debit de abur de 170 t/h la 130 ata şi 500°C, cu supraîncălzire intermediară la 20 ata şi 400°C, au fost prevăzute cu instalaţie de alimentare-degazare, economizoare şi preîncălzitoare de aer regenerative tip Ljungström. La data punerii lor în funcţiune (1942—L4 şi 1943—L3) erau printre cele mai moderne instalaţii din Europa. Ele funcţionau în bloc cu cîte o turbină cu contrapresiune tip BBC de 15 250 kW, care antrena fiecare un alternator de 20 300 kVA, cos $\varphi = 0{,}75$, 5000 V şi 2100 A la 3000 rot/min.

Aceste instalaţii au constituit multă vreme, pînă la construirea marilor centrale electrice prevăzute în planul decenal de electrificare, cele mai complexe şi mai economice instalaţii energetice din România.

Odată cu instalarea ciclului Löffler, pentru asigurarea calităţii corespunzătoare a apei de adaos se montează o instalaţie de tratare cu o capacitate de 18 m^3/h, care folosea un filtru cu permutit.

Totodată, se construieşte, pe malul stîng al Dîmboviţei, o rampă de descărcare a păcurii din cisternele CFR, un rezervor metalic de 6000 m^3 şi o staţie de preîncălzire şi de pompare a păcurii spre sala cazanelor.

În noiembrie 1943 se trece la alimentarea cazanelor de abur şi cu gaze naturale, prin construirea unei staţii de reglare, racordată la magistrala care alimenta Capitala.

În acest moment, Uzina electrică Grozăveşti atinge o putere instalată de 88 000 kW, fiind cea mai mare din ţară [2].

★

După eliberarea patriei, centrala termoelectrică Grozăveşti contribuie din plin la refacerea economiei Capitalei şi a ţării, greu încercate de război.

În anii regimului democrat-popular, ea va cunoaşte o dinamică deosebită, îmbogăţindu-se cu instalaţii moderne, de mare tehnicitate, ale căror performanţe tehnico-economice au crescut de la an la an.

În 1949 se realizează o staţie de 60 kV, prin care, printr-o LEA, se realizează prima interconexiune cu o ţară vecină — R. P. Bulgaria.

În martie 1953 se montează o instalaţie completă tip GEFIA pentru tratarea apei de adaos la cazanele Löffler, care utiliza pentru prima oară filtre cu mase schimbătoare de ioni.

În 1957, instalaţia GEFIA şi cea cu permutit sînt înlocuite cu o instalaţie nouă cu patru baterii de filtre H şi Na-cationice, cu o capacitate de 60 t/h.

Anul 1957 marchează o etapă deosebită în istoria centralei Grozăveşti. În acest an se realizează instalaţia de termoficare experimentală, prima instalaţie de termoficare urbană din capitală, una din primele de acest gen din ţară [4].

Instalaţia cuprindea: un boiler de 6 Gcal/h alimentat cu abur de 3,8—7 ata din ciclul Löffler, două pompe de circulaţie a 320 t/h, 33 m col. apă şi conducte de legătură pe ducere şi întoarcere cu consumatorii de apă fierbinte (blocurile de intervenţie Grozăveşti, Căminul de studenţi nr. 1 — IPB şi ICECHIM).

Experienţa acumulată prin exploatarea acestei instalaţii va fi deosebit de utilă în dezvoltarea ulterioară, de mari proporţii, a termoficării în Capitală şi în ţară.

La 17 august 1959 se pune în funcţiune un nou şi modern turbogenerator (nr. 8), care constituie prima turbină cu priză reglabilă de termoficare urbană din capitală, tip PTKO, de 25000 kW la 20 ata şi 400°C (construcţie Erste Brünner — R.S.C.).

În acelaşi an se dă în folosinţă un nou turn de răcire de formă hiperboloidală, din beton, cu capacitatea de 5000 m^3/h şi interval de răcire de 10°C (nr. 4).

În 1960 se pune în funcţiune la Grozăveşti instalaţia de termoficare urbană, prima instalaţie din ţară care utiliza căldura aburului,

prelevat dintr-o turbină prevăzută cu o singură priză reglabilă (TA 8) [4].

Instalația putea realiza o sarcină termică maximă de 78 Gcal/h pe două boilere înseriate, cel de bază fiind alimentat din priza reglabilă a TA 8 (la 2,5 ata), iar cel de vîrf printr-o SRR. Din această instalație s-au alimentat cu apă fierbinte consumatori industriali și blocuri de locuințe din zona de vest și de nord a orașului.

Pentru supravegherea centralizată a funcționării instalației din centrală, inclusiv colectoarele rețelei de transport, s-a amenajat o cameră de supraveghere și control, prevăzută cu aparatajul de măsură și control necesar.

Dezvoltarea impetuoasă a industriei și avîntul deosebit realizat de construcția de blocuri pentru oamenii muncii din Capitală solicitau cantități sporite de energie electrică și termică.

Pentru acoperirea acestor necesități s-a proiectat, de către ISPE București, extinderea CET Grozăvești cu instalații moderne de mare capacitate, corespunzătoare unei puteri electrice instalate de 100 MW și unei capacități termice de circa 600 Gcal/h.

Lucrările pentru etapa 2×50 MW (etapa nouă) au început în octombrie 1962 și s-au desfășurat în două perioade, oct. 1962—august 1964 și septembrie 1964—1966 [5].

Volumul de lucrări a fost foarte mare, executîndu-se, în paralel cu lucrările noi, o serie de importante demontări și demolări ale vechilor instalații și construcții.

În prima perioadă s-au realizat: o nouă sală de cazane, care trebuia să adăpostească un cazan de 420 t/h, o nouă sală de turbine, pentru două grupuri turbogeneratoare a cîte 50 MW, un corp pentru degazoare termice de 1,2 ata și 6 ata, o cameră de comandă termică pentru supravegherea și comanda etapei noi, două noi turnuri de răcire din beton (nr. 1 și 2) de 5000 m³/h, o nouă stație de reglare a gazelor naturale, o nouă stație de 110 kV, stații de servicii interne de 6 kV și 0,4 kV, depozite de H_2 și CO_2 și alte construcții anexe.

În această perioadă se montează un cazan de apă fierbinte de 100 Gcal/h (CAF 1) — pus în funcțiune la 4 februarie 1963 — , un cazan de abur tip TGM-84 de 420 t/h la 140 ata și 570°C, cu circulație naturală, cu combustie pe gaze naturale, prevăzut cu un înalt nivel de automatizare (cazanul nr. 1) și un turbogenerator de 50 MW de construcție sovietică (TA 1), pus în funcțiune la 9 august 1964. Turbina tip VT-50—1, cu condensație și priză reglabilă de termoficare urbană, se poate încărca în regim de termoficare la 60 MW. Debitul maxim de energie termică pe cele două boilere de termoficare alimentate din priza TA1 este de 93 Gcal/h.

Pe lîngă instalațiile de alimentare-degazare din circuitul termic al cazanului 1 —TA 1, se mai montează o stație de demineralizare totală de 2×50 m³/h, cu o linie de finisare și o linie de condensat impur, precum și o nouă instalație de dedurizare cu o capacitate de 600 m³/h, pentru alimentarea cazanelor de abur nr. 17 și 18 și asigurarea apei de adaos în rețeaua de termoficare.

În perioada 1964—1966 au continuat să se execute demolări de construcții și demontări de instalații vechi, ca, de exemplu: demolarea stației de 30/60 kV, a turnurilor de răcire din lemn, a rezervoarelor de păcură din incintă, a vechii stații de reglare a gazelor naturale, demontarea cazanelor de abur nr. 13, 14, 15, 16 ș.a.

La 13 noiembrie 1964 s-a dat în exploatare un nou CAF de 100 Gcal/h (CAF 2), urmat la scurtă vreme de un altul identic (CAF 3), pus în funcțiune la 27 februarie 1965.

La 27 septembrie 1965 se pune în funcțiune al doilea turbogenerator de 50 MW (TA 2), cu caracteristici similare cu TA 1, funcționînd în paralel cu acesta, ambele fiind alimentate cu abur de la cazanul TGM-84.

La 17 august 1966 se dă în exploatare, pentru a funcționa în paralel cu cazanul 1, un cazan tip IBZKG (construcție R.S.C.), de 210 t/h la 140 ata și 570°C, cu circulație naturală, cu combustie pe gaze naturale și păcură. Acest cazan s-a instalat pe amplasamentul fostelor cazane de abur nr. 15 și 16 și al vechii gospodării de păcură din incintă.

La 16 iunie 1968 se casează vechea turbină de casă, TA—SI, care nu mai prezenta siguranță în funcționare, urmată la 19 decembrie 1968 de TA 7—20 MW.

La 31 martie 1970 condensatorul fostei TA 7 este modificat și transformat în boiler de termoficare, cu capacitatea de 80 Gcal/h, fiind alimentat cu abur din bara de 20 ata, 400°C — prin două SRR.

La 18 decembrie 1970 se pune în funcțiune CAF nr. 4, de 100 Gcal/h, care, spre deosebire de primele trei, prezintă o serie de perfecționări, ce permit funcționarea automată atît pe gaze cît și pe păcură.

În 1971 se înlocuiește vechiul sistem de reglaj tip Askania (cu presiune de ulei) de la cazanele Löffler cu un sistem modern electronic. Cu această ocazie se creează și condiții de muncă îmbunătățite pentru personalul de exploatare al acestor cazane, prin amenajarea unei camere de comandă termică (CCT-2) amplasată lîngă CCT-1, prevăzută cu aparataj modern și climatizare.

Perioada care urmează și pînă în prezent se caracterizează prin preocupări deosebite legate de creșterea siguranței în funcționarea instalațiilor din CET Grozăvești și mai ales a economicității acestora. Astfel, se extinde instalația de dedurizare cu 3×75 m³/h, se montează al 5-lea trafo de 5/30 kV, se moderni-

zează arzătoarele cazanelor de abur nr. 2, 3 și 4, se utilizează fascicolele înglobate în condensatoarele TA 1 și TA 2 ca boilere de termoficare etc.

La nivelul anului 1978, așa cum rezultă din schema termică prezentată în figura 5, puterea electrică instalată în CET Grozăvești a fost de 188 MW, iar capacitatea termică instalată de 794 Gcal/h.

energeticieni formați la această școală practică au fost și sînt în continuare deosebit de utile marilor obiective energetice înscrise pe harta patriei.

Pe parcursul a peste nouă decenii, în instalațiile energetice din zona Grozăvești s-au format cadre de muncitori, tehnicieni și ingineri, bine pregătite, care au cultivat pasiune și dăruire pentru nobila meserie de energetician.

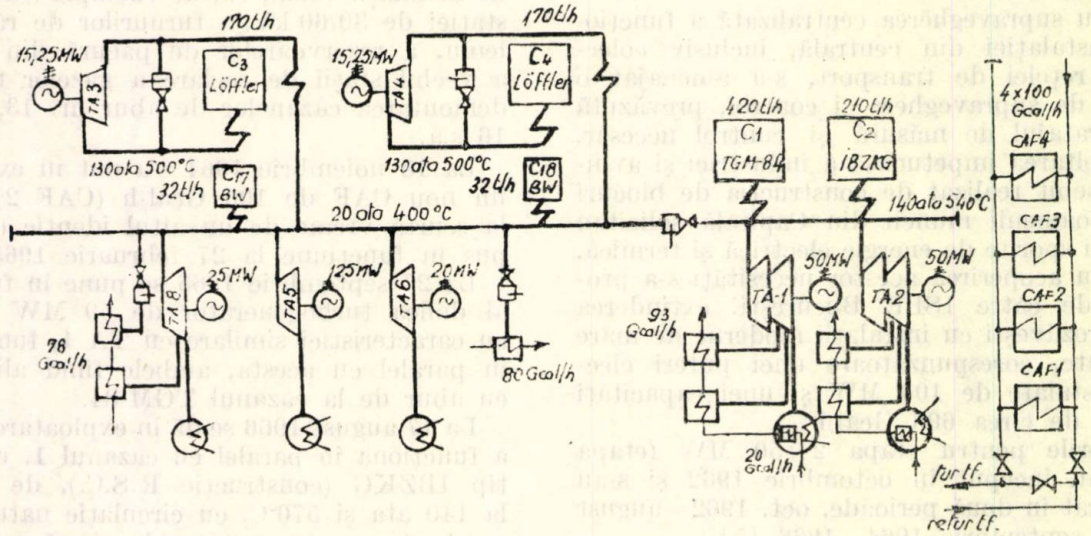


Fig. 5. CET Grozăvești — schema termică, 1978.

În cursul anului 1979 s-au casat cazanul de abur nr. 18 și vechile turbogeneratoare TA 5—12,5 MW și TA 6—20 MW, care prezentau uzură fizică și morală avansată.

Din 1889 și pînă în prezent, instalațiile energetice din zona Grozăvești au cunoscut o gamă diversă de tipuri și performanțe. Evoluția acestora, de la modestele mașini cu abur (cu consumuri specifice de 4000—6000 g c.c./kWh) la turbinele cu abur de termoficare cu parametri înalți (150 g c.c./kWh în regim de contrapresiune), este remarcabilă atît sub aspectul dinamicii puterii electrice instalate (prezentată în figura 6), cît mai ales sub aspectul performanțelor tehnico-economice. În mod corespunzător s-au îmbunătățit și condițiile de muncă și de trai ale personalului.

În istoria energeticii românești, instalațiile din zona Grozăvești au înscris pagini luminoase în special în anii puterii populare, prin contribuția importantă adusă la refacerea și dezvoltarea vieții economice și sociale a Capitalei și a întregii țări.

Deși în prezent și în perspectiva imediată CET Grozăvești este și va fi tot mai mult depășită, sub aspectul importanței, de alte centrale electrice din țară și din Capitală, considerăm că nu trebuie uitată activitatea de pionierat desfășurată în cadrul ei, faptul că experiența de exploatare și promoțiile de

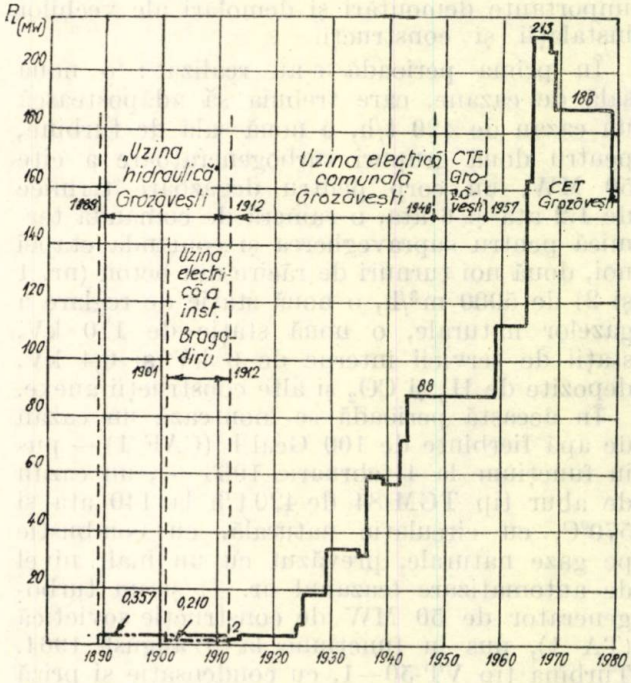


Fig. 6. Evoluția puterii electrice instalate în zona Grozăvești.

Dintre oamenii de seamă care și-au legat numele de aceste instalații, un loc primordial îl deține prof. ing. Dimitrie Leonida, părintele Uzinei comunale Grozăvești, al Școlii comunale de electricieni și mecanici, înființată în 1908 [6]

și al Muzeului tehnic din capitală (fondat în 1909, în care se mai găsesc și astăzi o serie de exponate legate de tema articolului de față), militant neobosit pentru dezvoltarea energeticii în România, de la a cărui moarte s-au împlinit, la 14 martie 1980, 15 ani.

Cîtă deosebire există între amărăciunea cu care tînărul inginer D. Leonida constata în 1914, referitor la frînarea dezvoltării electrificării în România burghezo-moșierească : „Față de repeziciunea uimitoare cu care s-a răspîndit utilizarea electricității, ce departe am fi putut ajunge, am fi stat mereu în fruntea mișcărilor tehnice" [1], și calda bucurie ce a cuprins inima septuagenarului prof. ing. D. Leonida, care, distins cu cele mai înalte onoruri ale țării noastre, își exprima recunoștința față de partid și guvern, pentru că i-au creat largi posibilități de a participa la elaborarea și înfăptuirea mărețului plan de electrificare a țării și de a-și vedea înfăptuit unul dintre principalele visuri ale tinereții, construirea hidrocentralei de la Bicaz [7].

Personalul de astăzi din CET Grozăvești, preluînd ștafeta lăsată de înaintași și bucurîndu-se acum de condiții net favorabile, create tuturor unităților energetice din țară de orînduirea socialistă, obține an de an succese în producție, dînd noi valențe acestei vechi vatre a energeticii românești.

Bibliografie

[1] Leonida, D. *Din istoricul instalațiunilor mecanice și electro-tecnice ale orașului București.* Extras din Buletinul Societății politecnice, București, 1915.

[2] Panaitescu, G., Costin, E., Manolescu, G. și Panaitescu-Dincă, M. *Aspecte ale dezvoltării energiei electrice în România.* În : Energetica nr. 9, 1969, p. 410—415 și nr. 1, 1970, p. 3—9.

[3] * * * *Uzinele electrice București 1908—1933, 25 ani de funcționare.* Soc. generală de gaz și electricitate, 1933.

[4] Ionașek, Th. și Rădulescu, V. *Executarea și exploatarea instalațiilor de termoficare.* Generalizarea experienței de exploatare, vol. 46, IRME, 1966.

[5] * * * *Documente tehnice de uz curent și din arhiva Centralei electrice Grozăvești.*

[6] * * * *Prima expoziție a electricității din România, București, septembrie-octombrie 1928.* Catalogul oficial.

[7] Basgan, I. *Dimitrie Leonida.* Editura științifică, București, 1968.

[8] Gheorghiu, St. *Lucrări de mărire a Uzinei electrice Grozăvești.* În : Gazelectra nr. 6, 1940.

[9] Țuțuianu, O. *Scurt istoric al evoluției instalațiilor de producere a energiei electrice și termice în Municipiul București.* Simpozion CNIT — IE București, oct. 1974.

[10] Țuțuianu, O. *Centrala electrică Filaret București, un capitol de seamă în istoria energeticii românești.* În : Energetica 25, nr. 10, 1977, p. 390—396.

(Articol intrat în redacție în martie 1980)

CRONICĂ

Al 7-lea Simpozion internațional asupra transferurilor de căldură și masă în medii poroase

În zilele de 26—28 august 1980 s-au desfășurat la Toulouse — Franța lucrările celui de-al 7-lea Simpozion internațional asupra transferurilor de căldură și masă în medii poroase. Simpozionul din 1980 se înscrie în tradiția, încă tînără dar bine închegată, de a se întîlni specialiștii din acest domeniu ; manifestările anterioare cu această temă au avut loc după cum urmează : 1969 — Haifa, 1973 — Paris, 1975 — Rapperswill, 1976 — Kiev, 1977 — Pavia, 1978 — Salonic ; s-a propus ca următorul simpozion să aibă loc în 1982 la Belgrad.

Simpozionul a fost organizat de Comitetul pentru medii poroase, care face parte din A.I.R.H. — Association Internationale de Recherches Hydrauliques. Organizarea simpozionului s-a făcut cu concursul financiar și material acordat de mai multe organizații naționale franceze. Lucrările simpozionului s-au desfășurat la Institutul național politehnic — Departamentul de mecanica fluidelor din Toulouse.

Comunicările au fost reunite într-un volum de peste 200 file, format A 4, într-o editare foarte îngrijită ; toți participanții au primit volumul la începerea lucrărilor.

Tema alcasă pentru simpozionul din 1980 este, evident, de mare actualitate ; ea constituie o preocupare pentru multe unități științifice, de învățămînt și industriale din toată lumea, problemele transferului de căldură și masă în medii poroase determinînd pe specialiști să poarte discuții frecvente în cadrul diverselor reuniuni. În 1980, la Toulouse, un număr de 11 țări din Europa, America de Nord și Africa au prezentat 33 de comunicări, grupate în cadrul a 4 teme ; titlurile acestora sînt următoarele :

I. *Proprietățile termofizice ale mediilor poroase* (4 comunicări) :

1. Metodă de măsurare simultană a difuzivității și conductivității termice adaptată pentru roci și materiale de construcție.
2. Aparataj de măsurare a caracteristicilor termofizice ale mediilor poroase utilizate în construcții civile.
3. Conductivitatea termică efectivă a unui mediu poros saturat.
4. Influența conținutului de apă și a temperaturii asupra conductivității termice a mediilor poroase nesaturate.

II. *Convecția naturală și forțată* (13 comunicări) :

5. Studiul influenței transferului termic solid-fluid asupra producerii convecției fluctuante într-un mediu poros.
6. Studiul convecției naturale într-un mediu poros cu ajutorul analizei dimensionale generale.
7. Studiul teoretic și experimental al convecției naturale într-un mediu fisurat provocată de o sursă concentrată de căldură.
8. Cercetarea proceselor de transfer de căldură și masă în pământuri permanent active. Modele matematice.
9. Influența condițiilor la limită asupra convecției naturale într-un volum cilindric poros.
10. Stabilitatea unei zone de difuzie termică într-un mediu semi-infinit cu curgere verticală.
11. Studiul teoretic și experimental al propagării convective a unei unde termice.
12. Cercetarea teoretică a transferului de căldură și masă în timpul curgerii bidimensionale de ape subterane.
13. Modelarea stocării de energie termică sub formă de căldură sensibilă și latentă într-un strat compact.
14. Rolul macrodispersiei pentru fenomenul de transfer termic într-un mediu acvifer.
15. Experimentare și tratarea datelor prin analiza dimensională generală — metodă modernă pentru cercetarea transferurilor de căldură și masă.
16. Hidrodinamica și suprafața interfacială a curgerilor gaz-lichid la partea de jos în pat fix. Influența naturii lichidului.
17. Influența condițiilor la limită asupra convecției libere în medii poroase.

III. *Schimbarea de fază* (8 comunicări) :

18. Legătura fenomenologică a schimbării de fază a apei într-un mediu poros. Verificare experimentală și măsurarea coeficientului fenomenologic.
19. Asupra problemei inverse a migrației termice în mediu poros.
20. Structura curgerii bifazice, cu evaporare, în metale poroase.
21. Alegerea mediului poros la nivelul performanței unui tub termic.
22. Transferul de căldură la evaporarea lichidelor nemetalice în încărcătura tuburilor termice.
23. Contribuții la termodinamica creșterii volumului prin înghețarea apei în sisteme poroase.
24. Problema lui Stephan tratată numeric prin metoda diferențelor finite asociată la o rețea uniformă fixă.
25. Migrația termică a apei în medii poroase.

IV. *Aplicații* (8 comunicări) :

26. Simularea comportării termice a solului în jurul unui schimbător îngropat de pompă de căldură.
27. Studiul unidimensional al transferurilor de căldură și masă cuplate într-un sol nesaturat din Tunisia.
28. Aplicarea tuburilor termice pentru stabilizarea termică a pământului.
29. Stocarea caloriilor într-un mediu acvifer prin convecție forțată de la un singur puț.
30. Simularea unui stocaj subteran de căldură în mediu poros saturat.
31. Nesiguranța asupra identificării parametrilor care influențează producerea uleiului prin baleiaj cu vapori.
32. Influența temperaturii asupra nivelului piezometric la puțuri arteziene și semi-arteziene.
33. Un model semi-analitic pentru simularea rezervoarelor geotermice.

Comunicările au evidențiat cu pregnanță tehnologia alcătuirii lor, care constă din : enunțarea problematicii, cercetările teoretice efectuate, verificările experimentale de laborator sau industriale, compararea rezultatelor și concluzii. Autorii s-au străduit să aprofundeze la maximum fenomenele de transfer de căldură și masă pentru cunoașterea fizicii acestora sau modelarea lor ; s-au utilizat cele mai avansate metode matematice și s-a folosit calculul mecanizat ; la montajele experimentale s-a introdus aparatură modernă specializată ; în ansamblul cercetărilor s-a manifestat exigență, preocupare pentru acuratețea rezultatelor și grijă deosebită pentru stabilirea de cunoștințe corecte ; s-a tratat utilitatea pentru practică a rezultatelor.

Fiecare dintre cele patru teme a constituit obiectul unei ședințe, care s-a desfășurat după următoarea schemă : deschiderea lucrărilor de către președintele ședinței ; prezentarea raportului general cu expunerea detaliată a fondului comunicărilor (în totalitate sau numai a unora dintre ele), degajarea problemelor generale pentru discuții și adresarea de întrebări particulare autorilor ; discutarea liberă a comunicărilor publicate în volumul simpozionului sau a altor lucrări cu aceeași temă ; intervențiile benevole sau la solicitare ale autorilor ; sinteza discuțiilor făcută tot de președintele ședinței. Merită să fie făcute două sublinieri :

— cu toate că transferul de căldură și masă în medii poroase reprezintă un domeniu relativ restrîns, vorbitorii s-au diferențiat, în general, la fiecare temă ; intervențiile lor se dezvoltau pe verticală în problematica respectivă ;

— președinții ședințelor au fost nevoiți să limiteze discuțiile, deși nu se constatau repetări, divagații sau paranteze.

Transferul de căldură și masă în general, precum și particularizarea la medii poroase intervine într-o diversitate relativ mare de procese naturale, de laborator și industriale. Cunoașterea lor se impune cu necesitate în contextul realizării în practică de instalații economice și care să poată fi exploatate în condiții de fiabilitate ridicată. Sînt, evident, legitime deci cercetările teoretice și experimentale, atît de ample, în acest domeniu.

Opiniez că ar fi oportun ca specialiștii din țara noastră să participe în măsură mai mare cu contribuții în domeniul transferului de căldură și masă ; totodată, ei trebuie să cunoască preocupările și realizările concrete din alte țări, inclusiv de la asemenea manifestări științifice.

Dr. ing. Constantin I. Staicu

Abonaţi-vă la
Revista ENERGETICA!

CERERE DE ABONAMENT PERSONAL LA REVISTA „ENERGETICA"

Subsemnatul . . . . . din. întrepr. . . . . solicit un abonament pe anul 1981 la revista „Energetica", care va fi expediat pe numele subsemnatului, la adresa : localitatea . . . . . .str. . . . . nr. . . . .bl. . . .sc. . . .et. . . .ap. sect. . . . .cod. . .judeţ . . . . .

C/v abonamentului (30 lei) am achitat-o în contul 30.11.8.01.01. BN RSR, fil. sect. 3, Bucureşti, ICEMENERG, prin m.p.nr. . . . din . . .sau la casieria ICEMENERG cu chit. nr. . . . . .din . . . . . .

Data . . . . . Semnătura . . . . . .

CERERE DE ABONAMENT PENTRU ÎNTREPRINDERE LA REVISTA „ENERGETICA"

Întrepr. . . . . .din . . . . . str. . . . . .nr. . . . . .sect. . .cod . . . . jud. . . . . solicită un abonament pe anul 1981 la revista „Energetica".

C/v abonamentului (100 lei) s-a achitat cu m.p.nr. . . . . .din . . . către ICEMENERG cont. 30.11.8.01.01. BN RSR, fil. sect. 3, Bucureşti

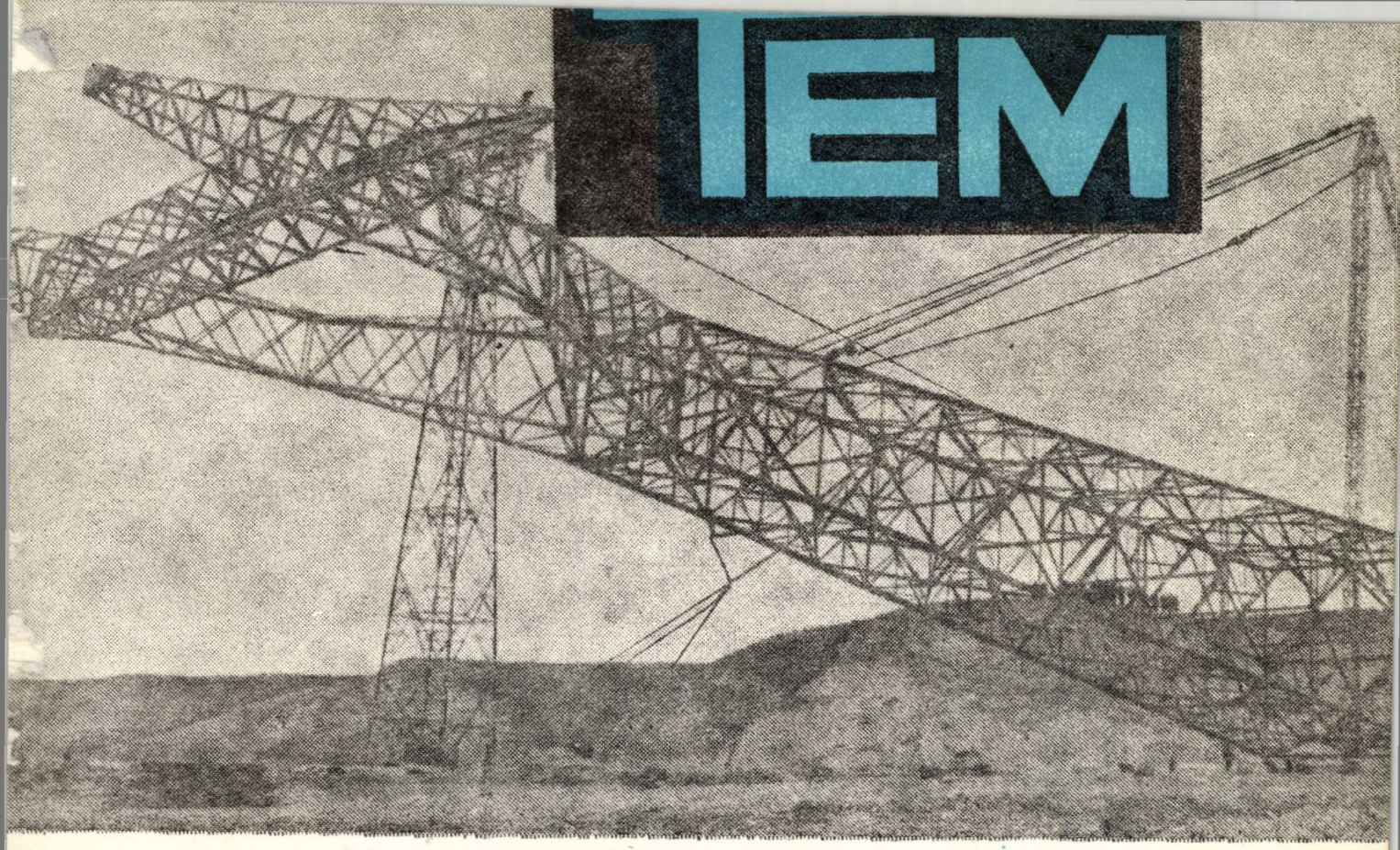
DIRECTOR, CONTABIL-ŞEF, Data

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția: București, Bd. Energeticienilor 8, Sectorul 3. Telefon: 20 67 30. Instituțiile pot achita abonamentele pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 3. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/7914/1979

I. P. I. c. 2736

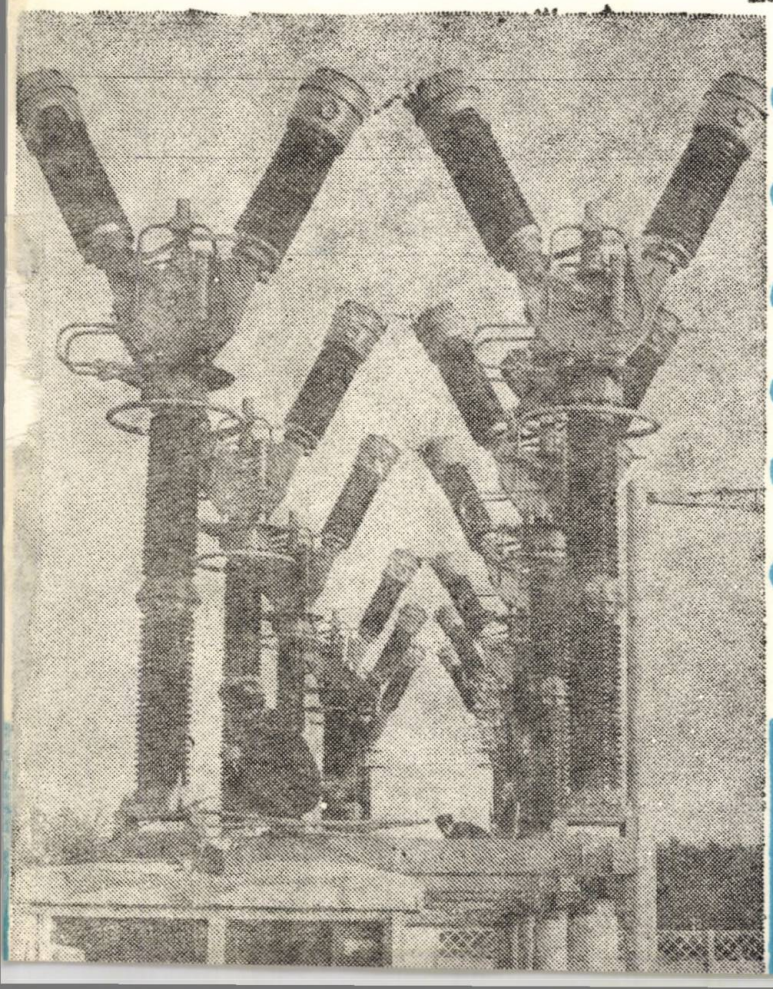
41 401

IEM



La executarea instalaţiilor electrice, Trustul ELECTROMONTAJ foloseşte procedee tehnologice moderne de mare productivitate, care conduc la durate scurte de execuţie şi la un înalt nivel calitativ al lucrărilor

EXECUTĂ PRIN UNITĂTILE SALE DE CONSTRUCŢ



- Linii electrice de foarte înaltă tensiune, 220 - 400 kV
- Linii electrice de înaltă şi medie tensiune, 6 - 110 kV
- Lucrări de joasă tensiune : iluminat stadioane autostrăzi, aeroporturi
- Linii electrice în cabluri subterane şi sub-fluviale de la 1 - 220 kV
- Staţii electrice de transformare şi conexiuni de 1 - 400 kV
- Posturi de transformare şi puncte de alimentare de orice tensiune şi putere

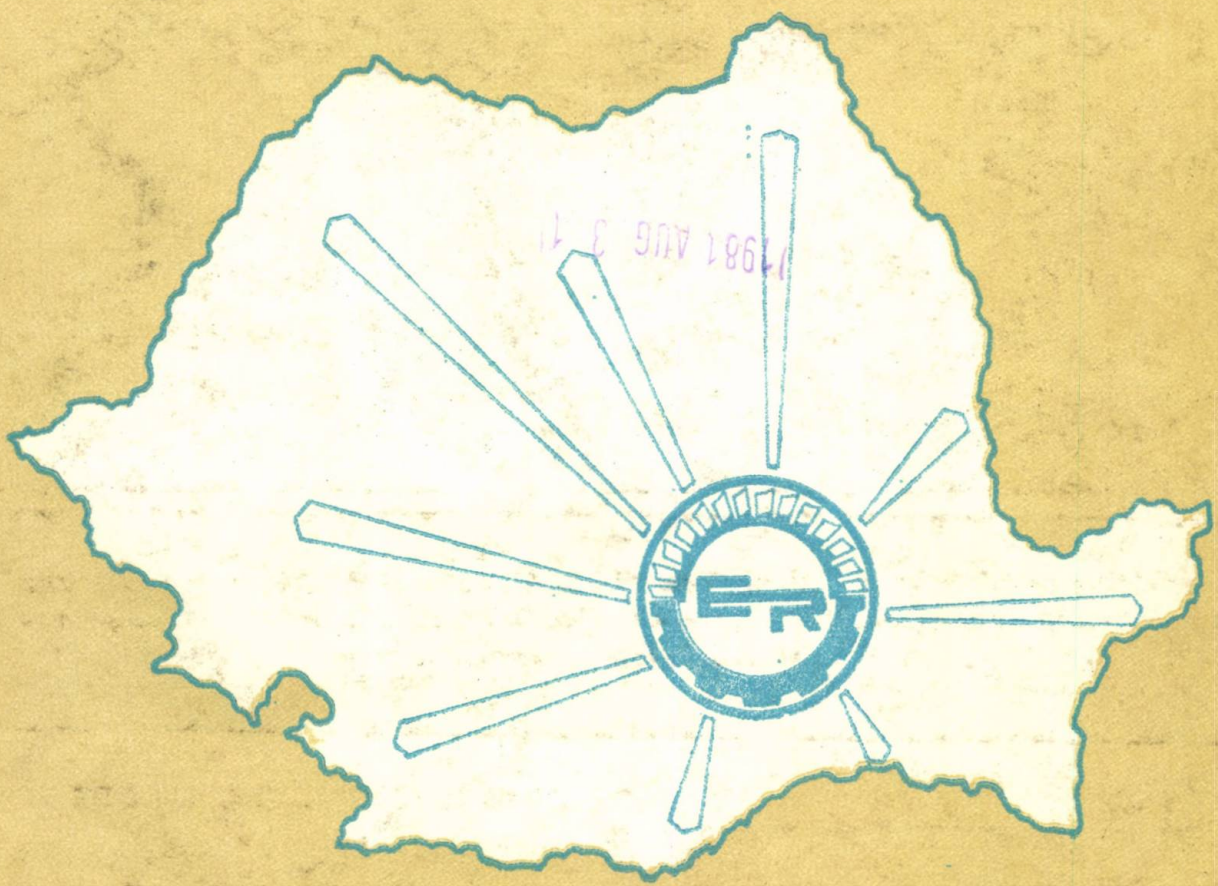
TRUSTUL ELECTROMONTAJ

BUCUREŞTI, CALEA MOŞILOR 158

Telefon 16 63 30

ENERGOREPARAŢII

București, Bd. Mărăşeşti nr. 2, sector 5
Telefon : 23.26.40



Execută pentru sectorul energetic :

Dispozitive, mecanisme, utilaje şi agregate, destinate mecanizării muncii din activitatea de construcţii-montaj de producere şi distribuţie a energiei electrice, de reparare a agregatelor energetice etc.

Utilaje, părţi de utilaje sau subansambluri necesare lucrărilor de investiţii din sectorul energetic (pompe de combustibil, pompe de injectat ciment, acţionări pneumatice cu ventile, batardouri, grătare pentru stavile etc.).

Reparaţii la : turbine cu abur, turbine hidraulice, generatoare electrice, compresoare, motoare electrice, motoare diesel stabile.

Piese de schimb pentru : turbine cu abur şi hidraulice, cazane de abur, instalaţii pentru pregătirea şi transportul combustibilului, motoare cu ardere internă şi compresoare, instalaţii şi utilaje auxiliare din centrale (pompe, ventilatoare, vane etc.).

Asistenţă tehnică în probleme de : vibraţii la agregate şi palete, echilibrări grupuri, analize defectoscopice, metalografice etc.

Recepţia la furnizori a echipamentelor energetice (turbine pentru centrale termo- şi hidroelectrice, generatoare, cazane, pompe etc.).

E 2039

MW

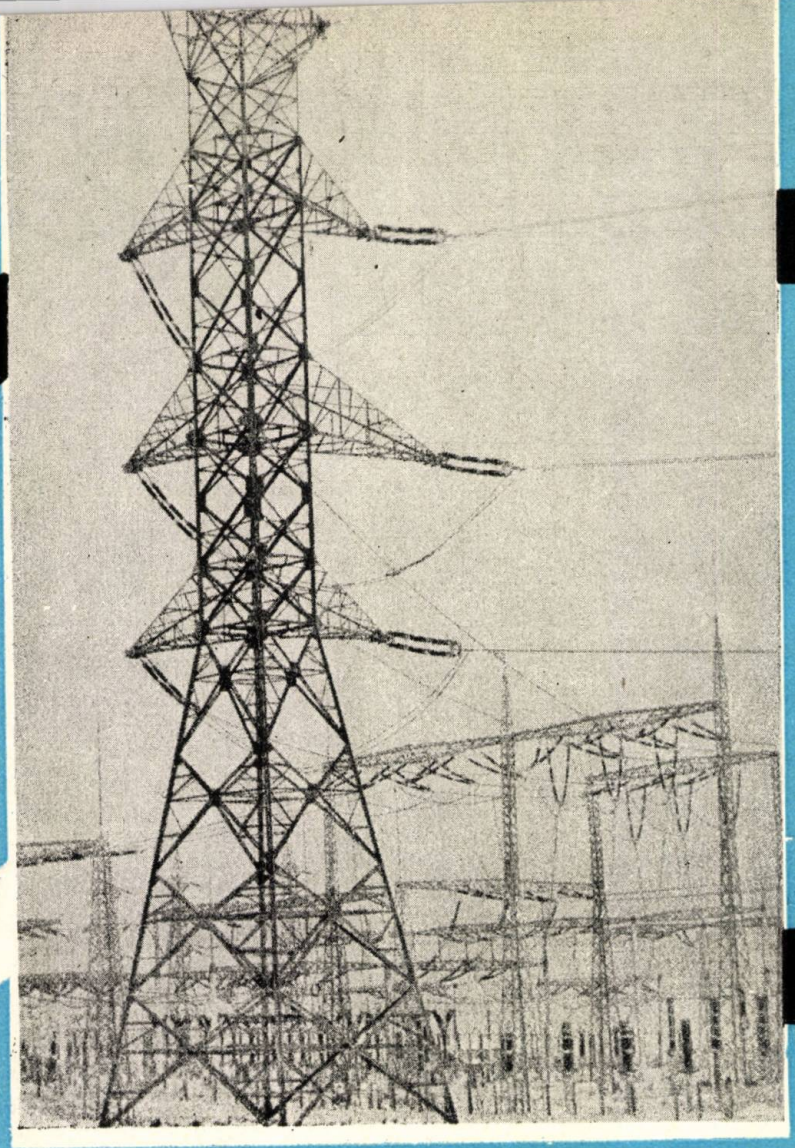
REFERATIVA
R

2-3

energetica

VOLUMUL XXIX
BUCUREŞTI
FEBRUARIE — MARTIE 1981

0 6 12 18 24



IRE SUCEAVA

• Transportă şi distribuie, în cele mai bune condiţii tehnice, energie electrică pentru necesităţile industriei, transporturilor, agriculturii şi consumatorilor casnici din judeţele Suceava şi Botoşani.

• Execută verificări pentru echipament electroenergetic, aparataj electric şi instalaţii de protecţie prin relee şi automatizări.

• Proiectează linii electrice cu tensiunea pînă la inclusiv 110 kV, staţii şi posturi de transformare, instalaţii electrice interioare şi microhidrocentrale.

• Construieşte reţele electrice de distribuţie, posturi de transformare, instalaţii electrice de iluminat public şi instalaţii electrice interioare.

ÎNTREPRINDEREA DE RETELE ELECTRICE-SUCEAVA
Str. Stefan cel Mare, nr. 24

NERGETICA

AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 29 Nr. 2–3 februarie–martie

OMSZ MŰSZAKI KÖNYVTÁR 1883

Cuprinsul

		Pag.
A IV-a Sesiune de comunicări tehnico-ştiinţifice „Producerea, transportul, distribuţia şi utilizarea raţională a energiei electrice", Suceava, 6–7 noiembrie 1980		57–68
Secţia I — **Economisirea energiei electrice şi reducerea consumului propriu tehnologic în reţelele sistemelor electroenergetice. Surse convenţionale şi neconvenţionale de energie electrică** (Raport general)		69–71
O. Mustaţă, P. I. Ani, M. Daniliuc şi R. Tecuceanu	**Set de programe privind urmărirea şi reducerea consumului propriu tehnologic în reţelele de distribuţie a energiei electrice din gestiunea IRE Suceava**	72–74
Tr. Chiriac, A. Grămadă şi G. Manea	**Funcţionarea economică a reţelelor IRE Suceava**	74–76
R. Sfichi	**Asupra unor probleme de compensare a puterii reactive corelate cu reducerea regimului deformant în instalaţiile electroenergetice**	76–81
R. Sfichi, O. Ianoş ş.a.	**Asupra concluziilor bilanţului electroenergetic în sectorul minier al judeţului Suceava**	82–85
E. N. Diaconescu, V. G. Croitoru ş.a.	**Studiu şi încercări asupra rotorului eolian cu ax orizontal şi pale plane**	85–87
Secţia II — **Instalaţii electrice de automatizare, protecţie şi control în reţelele sistemelor electroenergetice. Conducerea şi siguranţa exploatării reţelelor sistemelor electroenergetice** (Raport general)		88–90
Ov. Mustaţa, Tr. Chiriac, I. Zegrean, R. Sfichi şi C. Poenaru	**Consideraţii cu privire la introducerea sistemului de teleconducere pe bază de calculator în reţeaua electrică de distribuţie a IRE Suceava**	90–96
Tr. Chiriac, L. Penciuc şi D. Duru	**Posibilităţi de realizare a transmisiei de date în condiţiile introducerii sistemelor de teleconducere cu calculatoare de proces. Prezentarea unor modele adecvate IRE Suceava**	97–100
A. Pomârleanu, L. Bejuscu şi I. Radu	**Analize operative de siguranţă a funcţionării SEN interconectat cu sistemele vecine**	100–103
M. Stein şi St. Diaconescu	**Modelarea siguranţei în funcţionare a schemelor cu rezervare pasivă a echipamentului**	104–106
P. Militaru	**Prevenirea avariilor în cascadă la liniile de înaltă tensiune**	107–112
D. Ivas, N. Sufleţel şi Gh. Cîrţină	**Posibilităţi de modernizare a conducerii operative a staţiilor din reţeaua IRE Iaşi**	113–116
Secţia III — **Comportarea în exploatare a echipamentelor şi materialelor electroenergetice. Noi soluţii constructive şi de proiectare a reţelelor electrice** (Raport general)		116–121
D. Boşcoianu, R. Sfichi şi Gh. Cernuşcă	**Fenomene evolutive ce conduc la deteriorarea unor echipamente electrice în exploatare**	122–124
D. Cristescu, M. Ungureanu ş.a.	**Încercarea liniilor de înaltă tensiune în mediul înconjurător. Aspecte legate de zgomotul acustic provocat de descărcarea corona**	125–130
N. Golovanov, S. Hurdubeţiu şi R. Enache	**Caracteristici ale liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune cu mai multe circuite în regim permanent**	131–135
Cr. Bârcă, V. Giurgiu şi B. G. Popescu	**Echipamente electroenergetice de distribuţie şi bare capsulate de înaltă tensiune cu SF_6**	135–139
N. Şorea	**Contribuţii privind unele metode de calcul ale oscilaţiilor forţate ale conductoarelor LEA sub acţiunea vîntului**	139–144
RECENZII		

Revista apare sub îndrumarea
Consiliului ştiinţific al
Institutului central de cercetări energetice

A IV-a Sesiune de comunicări tehnico-științifice „Producerea, transportul, distribuția și utilizarea rațională a energiei electrice"

— Suceava, 6-7 noiembrie 1980 —

Printre manifestările tehnico-științifice importante din ultimele luni ale anului 1980, care au reunit specialiști în domeniul energetic, se înscrie și cea de-a IV-a sesiune de comunicări tehnico-științifice ce a avut loc la începutul lunii noiembrie la Întreprinderea de rețele electrice Suceava. Această sesiune se organizează bienal de către IRE Suceava, începînd din anul 1974, și abordează o tematică variată privind producerea, transportul, distribuția și utilizarea rațională a energiei electrice, la care își aduc aportul reputați cercetători, cadre didactice universitare, proiectanți și practicieni din toată țara.

Integrată în cadrul manifestărilor Festivalului Național „Cîntarea României", ediția de anul acesta a sesiunii de comunicări tehnico-științifice organizată de IRE Suceava s-a situat la un nivel deosebit de elevat față de edițiile precedente, atît prin nivelul comunicărilor prezentate cît și prin numărul acestora.

Sesiunea a beneficiat de participarea tovarășilor: Traian Gîrba — prim-secretar al Comitetului județean P.C.R. Suceava, președintele Comitetului executiv al Consiliului popular județean Suceava, M. Găinaru — secretar cu probleme economice în cadrul Comitetului județean P.C.R. Suceava, T. Doni — prim-secretar al Comitetului municipal P.C.R Suceava, președintele Comitetului executiv al Consiliului popular al municipiului Suceava, Gh. Miron — președintele Consiliului județean al sindicatelor Suceava, ing. N. Ureche — vicepreședinte al Comitetului executiv al Consiliului popular județean Botoșani, ing. D. Popescu — adjunct al ministrului energiei electrice, ing. Ion St. Ion — director adjunct al CIRE, dr. ing. Gh. Bălan — director adjunct științific al ICEMENERG.

Din cuvîntările rostite la ședința festivă de deschidere a sesiunii s-au desprins aspecte deosebit de valoroase în legătură cu tematica acesteia, precum și un puternic accent mobilizator privind preocupările specialiștilor în domeniile prioritare cu care se confruntă astăzi energetica românească.

La lucrările sesiunii au participat circa 160 de specialiști, din învățămîntul superior (Institutul politehnic București, Institutul politehnic Iași, Institutul politehnic Cluj-Napoca, Universitatea Craiova, Institutul de învățămînt superior Suceava), din cercetare și proiectare (ISPE, ICEMENERG, ICPE, CCSIT Electroputere—Craiova, SCP—CIRE), întreprinderi de rețele electrice din cadrul CIRE (IRE Iași, IRE Bacău,

IRE Craiova, IRE Suceava), precum și unități industriale și de proiectare din județele Suceava și Botoșani.

Cele 105 referate, a căror tematică este puternic ancorată în politica energetică a partidului, au fost grupate pe trei secții:

I. *Economisirea energiei electrice și reducerea consumului propriu tehnologic în rețelele sistemelor electroenergetice. Surse convenționale și neconvenționale de energie electrică.*

II. *Instalații electrice de automatizare, protecție și control în rețelele sistemelor electroenergetice. Conducerea și siguranța exploatării rețelelor sistemelor electroenergetice.*

III. *Comportarea în exploatare a echipamentelor și materialelor electroenergetice. Noi soluții constructive și de proiectare a rețelelor electrice.*

Din referatele prezentate, ca și din numeroasele intervenții ale participanților au rezultat concluzii deosebit de importante și utile, a căror transpunere în activitatea practică reprezintă aportul direct, efectiv la îndeplinirea măreților sarcini ce revin sectorului energetic din țara noastră, așa cum rezultă din istoricele documente adoptate de cel de-al XII-lea Congres al P.C.R.

Dintre concluziile desprinse sînt de reținut următoarele:

— Necesitatea aprofundării studiilor legate de normarea consumurilor tehnologice proprii în rețelele electrice de transport și distribuție, în scopul introducerii unui sistem rațional de urmărire a diminuării consumurilor nejustificate, ținînd seama de aspectele evidențiate în lucrările sesiunii.

— Se recomandă revederea criteriilor de optimizare privind funcționarea rețelelor sistemului electroenergetic din punct de vedere al reducerii pierderilor de putere activă, utilizînd strategii corespunzătoare referitoare la sursele de putere reactivă aflate în interdependență cu acțiunea de diminuare a fenomenelor deformante, a căror prezență se accentuează tot mai mult ca urmare a proliferării dispozitivelor pronunțat neliniare în rețelele sistemului electroenergetic.

— Bilanțurile electroenergetice, ca metodă de mare eficiență pentru identificarea tuturor posibilităților de raționalizare și economisire a energiei electrice, se recomandă a fi elaborate într-o viziune sistemică, corelate și cu celelalte laturi ale bilanțurilor energetice din întreprinderile industriale (termice, aer comprimat etc.), precum și în cadrul unor colective lărgite de specialiști: energeticieni, tehnologi, informaticieni, economiști ș.a.

— Punerea în valoare a unor potențiale energetice insuficient folosite, cum sînt potențialul eolian și, respectiv, potențialul hidroenergetic al debitelor și căderilor mici de ape; specialiștii din cercetare, învățămînt și producție trebuie ca, prin unirea eforturilor, să stabilească o concepție unitară de proiectare, execuție și mod de exploatare a centralelor electrice mici (eoliene și hidroelectrice) în scopul creșterii rentabilității lor.

— Necesitatea și oportunitatea introducerii în exploatare a sistemelor de teleconducere la nivelul rețelei electrice de distribuție de 110 kV și MT, stabilirea unei concepții tehnice unitare privind promovarea acestor instalații cu echipamente din țară, date fiind cerințele majore impuse de economia națională modului de funcționare a sistemului energetic național.

— Promovarea de tehnologii și echipamente noi pentru mărirea productivității muncii în activitatea de exploatare și întreținere a rețelelor electrice, aplicarea de noi soluții constructive și de proiectare a rețelelor electrice în scopul reducerii efortului de investiții și de creștere a siguranței lor în exploatare; un accent deosebit se impune a fi pus pe îmbunătățirea soluțiilor de proiectare pentru linii electrice de înaltă și foarte înaltă tensiune, precum și a stațiilor de transformare.

— Utilizarea metodelor moderne și a tehnicii automate de calcul în vederea punerii în evidență a unor aspecte deosebite privind funcționarea sistemului electroenergetic, care, considerate din faza de proiect, conduc la reducerea pierderilor de energie electrică, reducerea timpilor de indisponibilitate a echipamentului, utilizarea rațională a fondurilor de investiții etc.

— Se recomandă tuturor specialiștilor, din cercetare, proiectare, învățămînt și producție, ale căror preocupări se situează în domeniul dezvoltării și al exploatării sistemelor energetice, să promoveze o largă colaborare prin schimburi de experiență și idei în legătură cu creșterea performanțelor sistemului energetic românesc sub toate aspectele.

La ședința de închidere a lucrărilor sesiunii, dr. ing. Gh. Bălan — director adjunct științific al ICEMENERG — apreciind modul de desfășurare a acestei manifestări, ca și, în general, activitatea ce se desfășoară la IRE Suceava, a înmînat șase distincții ale Consiliului științific din ICEMENEREG (diplome și medalii jubiliare), cu prilejul împlinirii a 20 de ani de activitate de cercetare departamentală a acestui institut, unor specialiști din cadrul IRE Suceava.

Lista rapoartelor

Secția I — Economisirea energiei electrice și reducerea consumului propriu tehnologic în rețelele sistemelor electroenergetice (grupa I.1). Surse convenționale și neconvenționale de energie electrică (grupa I.2).

I.1.1. Al. Poeată și Gh. Georgescu (I. P. Iași) : Contribuții la studiul normării consumurilor tehnologice în rețelele electrice urbane.

I. 1.2. O. Mustață, P. I. Ani, R. Tecuceanu, E. Dorohoianu și M. Daniliuc (IRE Suceava) : Set de programe privind urmărirea și reducerea c.p.t. în rețelele de distribuție a energiei electrice din gestiunea IRE Suceava.

I. 1.3. Tr. Ionescu și M. Sîrbu (ICEMENERG) : Determinarea pe cale statistică a consumurilor tehnologice în rețelele electrice de distribuție.

I. 1.4. Tr. Chiriac, A. Grămadă (IRE Suceava) și G. Manea (ISPE) : Funcționarea economică a rețelelor IRE Suceava.

I. 1.5. I. Hopulele și M. Onofrei (IRE Suceava) : Optimizarea densității de curent în linii electrice ținînd seama de conținutul energetic al principalelor materiale, semifabricate, prefabricate și operații tehnologice.

I. 1.6. Gh. Șchiopu (IRE Bacău) : Determinarea secțiunii optime a conductoarelor liniilor electrice utilizînd metode econometrice.

I. 1.7. C. Drăgan (IRE Bacău) : Considerații privind concluziile bilanțului energiei electrice al rețelelor IRE Bacău.

I. 1.8. R. Sfichi, I. Prelipcean și O. Lungu (IRE Suceava) : Considerații cu privire la compensarea energiei electrice reactive în rețelele electrice de distribuție urbană.

I. 1.9. M. Frigură (IRE Bacău) : Îmbunătățirea nivelului de tensiune la capetele axelor de electrificări rurale lungi prin aplicarea metodei compensării longitudinale.

I. 1.10. R. Sfichi, S. Blumenfeld, Ol. Reziuc și O. Ianoș (IRE Suceava) : Aspecte privind reducerea c.p.t. de energie electrică în sectorul exploatării și industrializării lemnului din județul Suceava.

I. 1.11. R. Sfichi (IRE Suceava) : Asupra unor probleme de compensare a puterii reactive corelate cu reducerea regimului deformant în instalațiile electroenergetice.

I.1.12. R. Sfichi (IRE Suceava) : Cu privire la metodologia elaborării bilanțurilor energetice ale cuptoarelor electrice cu arc.

I. 1.13. R. Sfichi, I. Prelipcean, O. Lungu și S. Rotaru (IRE Suceava) : Considerații asupra variației sezoniere și pe zone geografice a indicatorilor T și τ în rețelele electrice de 20 și 110 kV ale IRE Suceava.

I. 1.14. O. Lungu, I. Prelipcean, R. Tecuceanu și S. Rotaru (IRE Suceava) : Măsurători și programe de calcul pentru determinarea timpului de utilizare a sarcinii maxime și a timpului de pierderi în rețelele electrice de distribuție.

I. 1.15. V. Cefranov, Ov. Ianoș, P. I. Ani și I. Prelipcean (IRE Suceava) : Evoluția și structura consumului de energie electrică în sectorul casnic al județului Suceava. Propuneri privind îmbunătățirea programelor de calcul pentru reducerea c.p.t.

I. 1.16. O. Ianoș (IRE Suceava) : Recuperator de căldură la frigiderele cu absorbție, pentru prepararea apei calde menajere.

I. 1.17. R. Sfichi, Ol. Reziuc, O. Ianoș, S. Blumenfeld și O. Lungu (IRE Suceava) : Asupra concluziilor bilanțului electroenergetic în sectorul minier al județului Suceava.

I. 2.1. I. Bojoi (Institutul de învățămînt superior Suceava) și R. Sfichi (IRE Suceava) : Potențialul energetic eolian din podișul Sucevei. Premise de valorificare.

I. 2.2. M. Apăvăloaie (Centrul de cercetări biologice Iași) și I. Bojoi (Institutul de învățămînt superior Suceava) : Contribuții metodologice privind determinarea potențialului eolian din podișul Sucevei.

I. 2.3. Em Diaconescu, V. Croitoru, A. Graur, L. Mandici (Institutul de învățămînt superior Suceava) și R. Sfichi (IRE Suceava) : Studiu și încercări asupra rotorului eolian cu ax orizontal și pale plane.

I. 2.4. Em. Diaconescu, V. Secară, A. Graur, L. Mandici (Institutul de învățămînt superior Suceava) și N. Murariu (IRE Suceava) : Instalație simplă pentru încercarea modelelor de rotoare eoliene.

I. 2.5. L. Severin (Institutul de învățămînt superior Suceava), Tr. Chiriac (IRE Suceava) și N. Băncescu (Institutul de învățămînt superior Suceava) : Încercări pe modele de rotoare eoliene tip Savonius.

I. 2.6. L. Mandici și A. Graur (Institutul de învățămînt superior Suceava) : Modalități pentru menținerea constantă a parametrilor electrici ai unui agregat eolian.

I. 2.7. L. Mandici, A. Graur, C. Fărtăiș (Institutul de învățămînt superior Suceava) și N. Murariu (IRE Suceava) : Reglarea parametrilor electrici ai unui aerogenerator utilizînd generator asincron cu alunecare pozitivă.

I. 2.8. E. Urcan și Th. Ciselski (ICEMENERG) : Creșterea eficienței exploatării hidrocentralelor prin corelarea planurilor zilnice de exploatare cu planurile de prognoză a exploatării pe termen lung.

I. 2.9. I. Enache (IRE Craiova) : Folosirea potențialului hidroenergetic din județul Gorj.

I. 2.10. R. Sfichi, D. Boșcoianu și V. Dragomirescu (IRE Suceava) : Asupra soluțiilor de valorificare a debitelor și căderilor mici de apă din județele Suceava și Botoșani prin microhidrocentrale.

Secția a II-a — Instalații electrice de automatizare, protecție și control în rețelele sistemelor electroenergetice (grupa II. 1). Conducerea și siguranța exploatării rețelelor sistemelor electroenergetice (grupa II. 2)

II. 1.1. Al. Fransua, R. Măgureanu, L. Kreindler (IP București), Tr. Chiriac și I. Zegrean (IRE Suceava) : Protecția prin sistem microprocesor a unei stații de 110/20 kV Suceava.

II. 1.2. Ov. Mustață, Tr. Chiriac, I. Zegrean, R. Sfichi și C. Poenaru (IRE Suceava) : Considerații cu privire la introducerea sistemului de teleconducere pe bază de calculator în rețeaua electrică de sitribuție a IRE Suceava.

II. 1.3. Em Simion și A. Samoilă (I. P. Cluj-Napoca) : Micromotor oscilant ferorezonant.

II. 1.4. M. Gavrilă (IRE Suceava) : Instalație de telemecanică pentru stațiile de transformare de 110 kV/MT.

II. 1.5. S. Rotaru și C. Sofa (IRE Suceava) : Telesemnalizare ciclică bipoziționalâ în rețelele electrice urbane.

II. 1.6. M. Nedelcu (IRE Craiova) : Protecția de distanță pentru liniile de medie tensiune.

II. 1.7. R. Sfichi (IRE Suceava) : Considerații cu privire la teoria simplificată a mutatorului cu trei pulsuri ca generator de curenți armonici în rețeaua electrică de alimentare.

II. 1.8. V. Munteanu (IRE Bacău) : Folosirea cablurilor-pilot în instalațiile de 110 kV.

II. 1.9. I. Dădău, I. Török, Gh. Oargă și Gh. Tuluca (ICPE-București) : Tendințe actuale în construcția și utilizarea siguranțelor fuzibile de înaltă tensiune.

II. 1.10. Tr. Chiriac, I. Zegrean, M. Wacsman și I. Zaharia (IRE Suceava) : Funcții și cerințe pentru experimentarea echipamentului de telemecanică cu minicalculatorul M 18 în stația de 110/20 kV Suceava. Rezultate experimentale obținute.

II. 1.11. Tr. Chiriac, L. Penciuc și D. Duru (IRE Suceava) : Posibilități de realizare a transmisiei de date în condițiile introducerii sistemelor de teleconducere cu calculatoare de proces. Prezentarea unor modele adecvate IRE Suceava.

II. 2.1. M. Pomîrleanu, L. Bejuscu și I. Radu (ICEMENERG) : Analize operative de siguranță a funcționării SEN interconectat cu sistemele vecine.

II. 2.2. M. Ciobanu și Gh. Crețu (ISPE București) : Insularizarea centralelor electrice de termoficare de pe platformele industriale. Verificare prin probe și măsurători.

II. 2.3. M. Stein și St. Diaconu (ISPE) : Modelarea siguranței în funcționare a schemelor cu rezervare pasivă a echipamentului.

II. 2.4. Z. Neag (ISPE): Metodă de predeterminare prin calcul a indicatorului de fiabilitate λ al LEA funcție de încărcările mecanice provenite din condițiile climatometeorologice.

II. 2.5. P. Militaru (ISPE): Prevenirea avariilor în cascadă la LEA de înaltă tensiune.

II. 2.6. C. Eftimie, Gh. Iordache și D. Soare (ICPMC București): Aplicarea în practica inginerească a calculului fiabilității ca mijloc de creștere a eficienței noilor investiții.

II. 2.7. N. Șorea, Cl. Pustai și I. Prelipcean (IRE Suceava): Analiza soluțiilor de alimentare cu energie electrică a unei platforme industriale (M.I.C.M.) prin prisma criteriului nivel de siguranță — c.p.t. minim.

II. 2.8. Gr. Dimitriu, N. Mihalache și D. Ionescu (IRE Iași): Stabilirea indicatorilor de fiabilitate pentru LEA 20—220 kV din exploatarea IRE Iași.

II. 2.9. D. Ivas, Gh. Cîrțină (IP Iași) și N. Sufletel (IRE Iași): Posibilități de modernizare a conducerii operative a stațiilor de transformare din rețeaua IRE Iași.

II. 2.10. Gh. Cîrțină și I. Țițaru (I.P. Iași): Posibilități de reglare optimală a tensiunii în rețelele de MT.

II. 2.11. N. Sufletel și Em. Asandului (IRE Iași): Perfecționarea modului de urmărire a realizării sarcinilor din cadrul IRE Iași.

II. 2.12. Al. Manta și M. Istrate (CCSIT Electroputere-Craiova): Sistem și metodă de măsură și prelucrare automată pe calculator a mărimilor rezultate dintr-un proces industrial.

Secția a III-a — Comportarea în exploatare a echipamentelor și materialelor electroenergetice (grupa III.1). Noi soluții constructive și de proiectare a rețelelor electrice (grupa III.2).

III. 1.1. Al. Curelaru și V. Onu (ICEMENERG): Experimentări privind comportarea întreruptoarelor de medie tensiune la regimuri și condiții speciale de funcționare.

III. 1.2. V. Onu (ICEMENERG) și G. Curcanu (CCSIT Electroputere-Craiova): Repartizarea tensiunii tranzitorii de restabilire pe camere de stingere ale întreruptoarelor de 10—110—220—400 kV la deconectarea pe scurtcircuit.

III. 1.3. D. Irimia și M. Defta (CCSIT Electroputere-Craiova): Metodă și instalație de diagnosticare a comportării la scurtcircuit brusc a transformatoarelor.

III. 1.4. P. Tușaliu (Univ. Craiova) și G. Curcanu (CCSIT Electroputere-Craiova): Studii și experimentări privind repartiția supratensiunilor atmosferice și de comutație în regim de impuls și a tensiunilor de restabilire și tranzitorii, pe întreruptoare de înaltă tensiune cu mai multe elemente separate.

III. 1.5. H. Ionescu, M. Defta și Ov. Rarinca (CCSIT Electroputere-Craiova): Determinarea posibilității de comutație a întreruptoarelor de medie și înaltă tensiune pe baza măsurătorilor curenților post-arc.

III. 1.6. G. Curcanu, M. Defta și C. Chiciu (CCSIT Electroputere-Craiova): Cu privire la măsurarea puterii și energiei arcului eletric de comutație și presiunii din camera de stingere a întreruptoarelor de înaltă tensiune.

III. 1.7. C. Chiciu și Fl. Ouatu: Despre comportamentul celulelor de înaltă tensiune izolate în SF_6 la arcuri electrice de scurtcircuit.

III. 1.8. P. Leonte (I. P. Iași), O. Repta și M. Grigoriu (IRE Iași): Contribuții la îmbunătățirea calității echipamentelor în condiții de exploatare.

III. 1.9. V. Hagiu și Fl. Tudose (SCP-CIRE): Comportarea în exploatare a instalațiilor electrice de distribuție de joasă tensiune cu conductoare izolate torsadate.

III. 1.10. D. Ivas (I.P Iași) și N. Sufletel (IRE Iași): Analiza gradului de solicitare a echipamentului din rețeaua de distribuție de medie tensiune a IRE Iași.

III. 1.11. D. Boșcoianu, R. Sfichi și Gh. Cernușcă (IRE Suceava): Fenomene evolutive ce conduc la deteriorarea unor echipamente electrice în exploatare.

III. 1.12. V. Ungureanu și Fl. Blăniță (SCP-CIRE): Elemente de mecanizare aferente activităților de exploatare și întreținere a instalațiilor de transport și distribuție a energiei electrice realizate prin efort propriu, în cadrul CIRE.

III. 1.13. M. Grămăticu, I. Tenchea, N. Tulumb, Cr. Socaciu, I. Zbughin și L. Chirilă (Institutul de învățămînt superior Suceava): Încercări comparative de coroziune a unor metale utilizate la instalații electrice.

III. 1.14. M. Grămăticu, I. Tenchea, N. Tulumb, Cr. Socaciu, I. Zbughin și L. Chirilă (Institutul de învățămînt superior Suceava): Cercetări privind modificarea capacității portante la tracțiune și rezilienă, datorită coroziunii.

III. 1.15. M. Grămăticu, I. Tenchea, N. Tulumb, Cr. Socaciu, I. Zbughin și L. Chirilă (Institutul de învățămînt superior Suceava): Cercetări asupra coroziunii în atmosferă agresivă în zonele Tarnița și Abator Botoșani.

III.1.16. R. Enache (I. P. București): Aspecte privind caracteristicile statistice ale tensiunii de străpungere a izolațiilor la supratensiuni interne.

III. 1.17. R. Enache (I. P. București): Studiul la calculatorul numeric al caracteristicilor statistice ale supratensiunilor de comutație.

III. 1.18. Gh. Stroică și M. Ochian (IRE Craiova): Efectele poluării asupra izolației echipamentului electric în instalațiile electrice din zona Oltenia.

III. 1.19. N. Galan (I. P. București): Aspecte energetice determinate de anizotropia magnetică a materialelor.

III. 1.20. A. Lațcu (IRE Suceava): Factorii psihologici și succesul profesional în munca energeticienilor.

III. 2.1. A. Arie, M. Tudose (I. P. București), R. Sfichi (IRE Suceava) și I. Iordănescu (I. P. București): Stabilirea spectrului armonicilor de curent generat de receptoarele neliniare utilizînd o metodă de liniarizare.

III. 2.2. A. Arie, P. Postolache, K. Schuller, Em. Dumitrescu (I.P. București), N. Șorea (IRE Suceava) și C. Dumitriu (I.P. București): Contribuții privind studiul vibrațiilor conductoarelor LEA prin metoda similitudinii electromecanice (partea I și II).

III. 2.3. D. Cristescu, M. Ungureanu, P. Postolache, Gh. Măgureanu și S. Munteanu (I.P. București): Încadrarea liniilor de înaltă tensiune în mediul înconjurător. Aspecte legate de zgomotul acustic provocat de descărcarea corona.

III. 2.4. N. Golovanov, S. Hurdubețiu (I.P. București) și R. Enache (ICEMENERG): Caracteristici ale LEA de înaltă tensiune cu mai multe circuite în regim permanent.

III. 2.5. N. Petre, P. Rașcu, N. Velișcu și D. Voinea (ISPE): Concepția actuală în proiectarea stațiilor interioare de tip 110 kV cu echipament clasic din R.S.R.

III. 2.6. P. Militaru, Z. Neag și M. Dinu-Popa (ISPE): Fundamentarea prin cercetări și studii a încărcărilor de calcul pentru dimensionarea LEA, introduse în normativul PE—MEE 104/79.

III. 2.7. G. Gheorghiță (ISPE) și A. Arie (I.P. București): Domenii de utilizare pentru elementele unei linii electrice aeriene: conductoare, izolatoare, stîlpi.

III. 2.8. G. Gheorghiță și E. Bolki (ISPE): Linii electrice aeriene de 400 kV simplu circuit cu trei conductoare pe fază. Alegerea geometriei stîlpilor.

III. 2.9. A. Mocanu, I. Rentea și M. Mocanu (ISPE): Proiectarea elementelor de construcție ale LEA 110 kV adoptate pentru tehnologia de lucru sub tensiune.

III. 2.10. M. Mocanu (ISPE): Analiza critică a soluțiilor adoptate la proiectarea unor LEA de 400 kV simplu circuit.

III. 2.11. Al. Tănăsescu, V. Hagiu și M. Chitic (SCP-CIRE): Soluții constructive noi privind LES de joasă și medie tensiune.

III. 2.12. V. Hagiu și I. Chirvăsuță (SCP-CIRE): Soluții constructive noi privind instalațiile de alimentare cu energie electrică a blocurilor de locuințe.

III. 2.13. Al. Tănăsescu şi T. Işfanu (SCP-CIRE) : Parametrii cablurilor în regim de scurtcircuit monofazat — reactanţe inductive.

III. 2.14. Al. Tănăsescu, T. Işfanu, M. Russ şi H. Măriej (SCP-CIRE) : Prizele de pămînt echivalente din posturi de transformare şi puncte de alimentare în cazul reţelelor de cabluri de 20 kV cu neutrul tratat prin rezistenţă.

III. 2.15. M. Iordache (I.P. Bucureşti) şi V. Iordache (IRE Bucureşti) : Implicaţii tehnico-economice ale abaterilor de tensiune asupra motoarelor asincrone.

III. 2.16. V. Toaxen (IRE Craiova) : Aspecte privind calculul conductoarelor de curent de traversare pentru instalaţii criogenice.

III. 2.17. D. Rucinschi, M. Maricaru, Th. Vaşcan, I. Albeanu şi M. Dumitrescu (ICPE) : Instalaţii pentru verificarea calităţii izolaţiei echipamentelor electrotehnice de medie şi înaltă tensiune.

III. 2.18. P. Arabadji (ICPE) : Consideraţii asupra descărcătoarelor cu stingere prin autosuflaj a arcului electric.

III. 2.19. Cr. Bîrcă, V. Giurgiu şi B. Popescu (ICPE) : Echipamente electroenergetice de distribuţie şi bare capsulate de înaltă tensiune cu hexafluorură de sulf.

III. 2.20. G. Florea, E. Voinea (ISPE) şi N. Drăguşin (ICMP-Bucureşti) : Determinarea tensiunii de atingere ce apare în conductoarele unei linii electrice în curs de montaj cu traseu paralel cu o linie electrică de înaltă tensiune în regim normal de funcţionare.

III. 2.21. G. Florea, E. Voinea (ISPE) şi N. Drăguşin (ICMP-Bucureşti) : Determinarea tensiunii de atingere ce apare în conductoarele unei linii electrice în curs de montaj în paralel cu o linie electrică de înaltă tensiune în regim de scurtciruit monofazat.

III. 2.22. G. Florea şi M. Ionescu (ISPE) : Consideraţii privind înălţimea echivalentă a conductoarelor LEA pentru calculul parametrilor lineici.

III.2.23. G. Florea (ISPE) şi M. Dobre (IP Bucureşti) : Metodă aproximativă de calcul a cîmpului electrostatic la sol, creat de LEA.

III. 2.24. G. Florea, G. Manea şi M. Ionescu (ISPE) : Analiza propagării pe un conductor de protecţie a unei unde de curent injectate, prin aplicarea descompunerii spectrale.

III. 2.25. G. Florea (ISPE) şi M. Dobre (IP Bucureşti) : Determinarea undei induse prin cuplaj electromagnetic într-un conductor activ, de o undă injectată într-un conductor de protecţie.

III. 2.26. N. Şorea (IRE Suceava) : Contribuţii privind metodele de calcul al oscilaţiilor forţate ale conductoarelor LEA sub acţiunea vîntului.

III. 2.27. N. Şorea (IRE Suceava) : Contribuţii privind dimensionarea LEA de înaltă tensiune funcţie de factorii climaterici în zona Suceava.

III. 2.28. N. Şorea (IRE Suceava) : Contribuţii la metodele de calcul mecanic al conductoarelor LEA încărcate cu chiciură şi polei.

III. 2.29. N. Şorea şi Cl. Pustai (IRE Suceava) : Contribuţii la proiectarea şi realizarea LEA 110 kV în condiţii de relief foarte grele din zona Barnar, judeţul Suceava.

III. 2.30. N. Şorea şi M. Onofrei (IRE Suceava) : Cu privire la unele aspecte de oscilaţii mecanice după un scurtcircuit.

III. 2.31. D. Soltaniuc, N. Şorea şi V. Struţ (IRE Suceava) : Folosirea separatoarelor STEP-2-110 kV în staţiile SRA 110 kV.

III. 2.32. N. Murariu şi D. Coca (IRE Suceava) : Realizări ale IRE Suceava pe linie de cercetare, autodotare şi autoutilare.

III. 2.33. S. Puşcaşu, Fl. Ştefănescu, I. Iser (Univ. Craiova) şi V. Toaxen (IRE Craiova) : Unele probleme ale proiectării criotransformatorului rezistiv.

III. 2.34. N. Şorea şi M. Onofrei (IRE Suceava) : Contribuţii privind unele probleme ale balizării LEA 110 kV.

III. 2.35. M. Pavel şi R. Petriuc (IRE Suceava) : Dispozitiv electronic pentru amorsarea şi asigurarea funcţionării tuburilor fluorescente.

Cuvîntul rostit de tovarășul Traian Gârba,

prim-secretar al Comitetului județean P.C.R. Suceava,
președintele Comitetului executiv al Consiliului popular județean Suceava

Stimați tovarăși

Organizarea la Suceava a celei de-a IV-a ediții a Sesiunii de comunicări tehnico-științifice, avînd ca temă producerea, transportul, distribuția și utilizarea rațională a energiei electrice, se înscrie ca un moment major în suita manifestărilor subordonate traducerii în fapt a cerințelor formulate în documentele Congresului al XII-lea al P.C.R. privind domeniul energetic.

Îmi este deosebit de plăcut să subliniez, aici, că această importantă manifestare tehnico-științifică, ce reunește reputați cercetători, cadre didactice universitare, proiectanți și practicieni din domeniul energetic, coincide cu apropiata sărbătorire a 20 de ani de cînd pe teritoriul județului Suceava și al vecinilor noștri botoșăneni, își desfășoară activitatea întreprinderea de rețele electrice, gazda și organizatoarea acțiunii la care participăm.

Evidențiind semnificația deosebită a acestei reuniuni pentru punerea în valoare a unor noi și însemnate rezerve energetice, doresc să vă adresez dumneavoastră, tuturor participanților, din partea biroului comitetului județean de partid și a mea personal, un călduros bun-venit pe frumoasele meleaguri de legendară istorie ale Sucevei.

Și județul nostru, asemeni tuturor zonelor țării, a cunoscut, în cincinalul pe care-l încheiem, importante prefaceri înnoitoare în toate domeniile de activitate. Pentru oaspeții noștri îndeosebi aș vrea să subliniez cîteva din succesele comuniștilor, ale colectivelor de oameni ai muncii suceveni, înscrise la loc de frunte în cronica marii întreceri socialiste. Unul dintre acestea, și cel mai de seamă, îl constituie îndeplinirea cu trei luni și jumătate mai devreme a sarcinilor actualului cincinal la producția industrială, alături de care se situează o altă notabilă realizare — atingerea cotelor cincinalului la export cu o jumătate de an mai devreme.

Beneficiind de un însemnat program de investiții, materializat în noi și moderne capacități de producție și dezvoltări, județul nostru realizează astăzi o producție industrială de 4 ori mai mare față de 1965 și o productivitate a muncii cu 35% superioară celei din 1975.

O dezvlotare deosebită în ultimii ani au cunoscut-o, și la noi, ramurile de vîrf, purtătoare ale progresului tehnic : industria mineră, chimică, cea constructoare de mașini, care promovează pe scară largă tehnologii moderne, de mare randament și înaltă eficiență economică.

În acest cadru aș dori să remarc contribuția substanțială pe care au adus-o muncitorii, tehnicienii și inginerii, constructorii din cadrul acestui vrednic colectiv al Întreprinderii de rețele electrice Suceava, în cei 20 de ani de existență, la dezvoltarea economico-socială a județului.

Mulțumindu-le tuturor pentru eforturile remarcabile depuse la înălțarea acestui minunat colț de țară, țin totodată să exprim sincerele noastre mulțumiri ministerului și centralei de resort pentru sprijinul permanent și competent acordat, pentru colaborarea strînsă și rodnică în înfăptuirea sarcinilor trasate de partid.

Stimați tovarăși,

Directivele Congresului al XII-lea al partidului prevăd și pentru județul nostru sarcini dintre cele mai mobilizatoare, creșteri calitative importante, semnificative pentru grija deosebită ce o acordă conducerea partidului și statului, personal secretarul general al partidului, tovarășul Nicolae Ceaușescu, înfloririi multilaterale a plaiurilor bucovinene.

În acest context, o deosebită importanță o prezintă traducerea în viață, punct cu punct, a măsurilor stabilite de partid, a prețioaselor indicații, de o inestimabilă valoare teoretică și practică, date în nenumărate rînduri de tovarășul Nicolae Ceaușescu, privitoare la folosirea cît mai chibzuită a energiei electrice, la reducerea continuă a consumurilor specifice și înlăturarea oricărei surse de risipă.

Iată de ce comitetul nostru județean, organele și organizațiile de partid din unitățile economice pun un accent deosebit pe gospodărirea cu maximă răspundere a acestei importante bogății naționale, prin perfecționarea continuă a tehnologiilor consumatoare de energie electrică, reducerea normelor specifice energetice, prin mai buna organizare a producției și a muncii pe toate treptele procesului tehnologic de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice.

Bizuindu-ne și în continuare pe hărnicia și priceperea profesională a colectivului de oameni ai muncii de la IRE Suceava, pe faptul că în fiecare unitate economică din județ acționează specialiști cu o înaltă pregătire, avem deplina convingere că vom putea aduce o contribuție importantă la înfăptuirea neabătută a hotărîrilor partidului privind domeniul energetic, a sarcinilor reieșite din documentele recentei plenare a C.C. al P.C.R.

Asigurîndu-vă că vom face tot ce depinde de noi pentru aplicarea în cel mai scurt timp a experiențelor valoroase ce se vor contura în acest cadru, că vom încuraja orice inițiativă înaintată, doresc, în încheiere, să urez succes deplin lucrărilor acestei importante reuniuni tehnico-științifice, să mulțumesc, totodată, tuturor acelora care contribuie la realizarea ei, oaspeților noștri de seamă prezenți în vechea cetate de scaun a Moldovei.

Cuvîntul rostit de tov. ing. N. Ureche,

vicepreședinte al Comitetului executiv al Consiliului popular al județului Botoșani

Stimați tovarăși,

Cea de-a IV-a sesiune de comunicări tehnico-științifice, organizată de Întreprinderea de rețele electrice Suceava, se desfășoară într-un moment deosebit de important — la cumpăna între două cincinale.

Calendaristic mai sînt 55 de zile pînă la încheierea actualului cincinal, dar, așa cum bine se știe, atît județul-gazdă, Suceava, cît și județul pe care-l reprezint la această manifestare, județul Botoșani, au devansat calendarul, îndeplinind planul producției industriale pe întreg cincinalul.

Este un însemnat succes de care trebuie să fim mîndri, dovedind capacitatea colectivelor noastre de oameni ai muncii de a transpune în fapte viguroasele planuri de dezvoltare avîntată a economiei și, totodată, de creștere a calității vieții.

În același timp însă, trebuie să pregătim foarte serios măsurile pentru trecerea la o calitate superioară în toate domeniile, pentru eliminarea neajunsurilor care s-au semnalat în perioada parcursă.

În acest context, și în condițiile adîncirii crizei energetice mondiale, se desfășoară această sesiune de comunicări, care-și propune să valorifice unele dintre cele mai recente și semnificative studii și experiențe de producție cu privire la „producerea, transportul, distribuția și utilizarea rațională a energiei electrice".

Citind conținutul Invitației-program, mi-am dat seama de bogăția de probleme ce vor fi prezentate, de rolul pe care aplicarea acestor măsuri îl poate avea pe linia mai bunei și raționalei gospodăriri a energiei electrice, la ridicarea randamentelor energetice la conversie și la consum.

Particip cu deosebită plăcere la cea de-a IV-a sesiune de comunicări tehnico-științifice organizată de Întreprinderea de rețele electrice Suceava, manifestare care a devenit tradițională și se bucură de un ridicat prestigiu.

Ca președinte al Comisiei energetice a Comitetului executiv al Consiliului popular al județului Botoșani, doresc să-mi exprim deosebitul interes pentru comunicările ce vor fi prezentate privind „sursele convenționale și neconvenționale de energie electrică", avînd în vedere stadiul de finalizare în care ne aflăm în ceea ce privește elaborarea „Programului de valorificare a surselor neconvenționale de energie în județul Botoșani".

Cu acest prilej doresc să transmit din nou mulțumirile Comitetului executiv al Consiliului popular al județului Botoșani pentru sprijinul pe care l-am primit din partea IRE Suceava, pe linia studierii potențialului hidroenergetic al județului nostru, în elaborarea programului de realizare a celor 16 microhidrocentrale, proiectarea acestora și participarea efectivă la realizarea lor. La sfîrșitul acestei luni va intra în funcțiune prima microhidrocentrală din județul Botoșani, realizată pe acumularea piscicolă Hănești.

De asemenea, sînt în diverse stadii de cercetare sau experimentare unele instalații de valorificare a energiei solare și eoliene, precum și de producere a biogazului.

Sîntem încă la început de drum, dar este foarte clar pentru noi că asigurarea surselor de energie necesare dezvoltării ascendente a economiei în viitorul deceniu a devenit o problemă fundamentală a economiei românești, o obligație majoră a fiecărui ener-

getician. De aceea consider că organizarea unor astfel de manifestări constituie un foarte bun prilej pentru ca cei ce lucrăm în energetică să cunoaştem, şi apoi să aplicăm în activitate, noi măsuri de sporire a eficienţei energetice.

Apreciem foarte mult iniţiativa IRE Suceava.

Mulţumind pentru faptul că am fost invitaţi să participăm la actuala sesiune de comunicări, adresăm un călduros salut şi deplin succes lucrărilor acestei tradiţionale sesiuni.

Cuvîntul rostit de ing. Dumitru Popescu,

adjunct al ministrului energiei electrice

Stimaţi tovarăşi,

Intrată deja în tradiţia Întreprinderii de reţele electrice de la Suceava, sesiunea de comunicări tehnico-ştiinţifice organizată de către energeticienii suceveni, începînd din anul 1974, se află la a IV-a ediţie.

Înscrisă în programul activităţilor tehnico-ştiinţifice al ministerului şi centralei, precum şi al judeţului, actuala ediţie a acestei sesiuni coincide şi cu apropiata sărbătorire a 20 de ani de cînd pe teritoriul judeţului Suceava şi Botoşani funcţionează întreprinderea de reţele electrice şi cu împlinirea a 75 de ani de la electrificarea primei localităţi din această parte a ţării — oraşul Vatra Dornei.

În decursul celor 20 de ani de existenţă, IRE Suceava a cunoscut o creştere continuă în ce priveşte ritmul de realizare a noilor investiţii, nivelul tehnic al exploatării şi, mai ales, promovarea tehnicii noi. Ocupînd mereu locuri fruntaşe în cadrul întrecerii socialiste ce se desfăşoară între întreprinderile din ramură, întreprinderea de la Suceava se caracterizează printr-o mare receptivitate faţă de nou. Tocmai aceasta explică faptul că în IRE Suceava se desăvîrşeşte implementarea sistemului informatic complex într-o întreprindere de reţele electrice şi se fac primele încecări de introducere a unui sistem de teleconducere pe bază de calculator.

Stimaţi tovarăşi, aşa cum ştim cu toţii, sectorul energetic al ţării se află în faţa unor sarcini de înaltă răspundere în deceniul care urmează.

Potrivit documentelor adoptate de cel de-al XII-lea Congres al P.C.R., trebuie amplificate eforturile în vederea economisirii combustibililor şi energiei, acţiuni pentru care specialiştii din cercetare, învăţămînt şi producţie trebuie să găsească cele mai bune soluţii.

Sînt încă suficiente căi şi mijloace de investigare nefolosite în scopul diminuării pierderilor de energie electrică în producerea, transportul, distribuţia şi utilizarea acesteia. Avem în vedere, în acest sens, în primul rînd perfecţionarea tehnologiilor consumatoare de energie electrică, reducerea consumurilor specifice energetice, mai buna organizare a producţiei şi a muncii pe toate treptele procesului tehnologic de producere, transport, distribuţie şi utilizare a energiei electrice.

Trebuie depuse eforturi susţinute de reducere rapidă a consumurilor energetice în industrie şi agricultură, astfel încît, într-un timp relativ scurt, să atingem nivelurile realizate pe plan mondial la consumurile energetice pe unitatea de produs. Totodată, prin identificarea şi punerea în valoare a unor noi surse de energie, prin intensificarea realizării programelor de construcţii hidroenergetice şi de centrale electrice funcţionînd pe cărbune, urmează să se realizeze treptat obiectivul major al politicii energetice a partidului nostru — independenţa României din punct de vedere energetic

Stimaţi tovarăşi, la sesiunea de comunicări tehnico-ştiinţifice pe care o deschidem participă reputaţi cercetători, cadre didactice universitare, proiectanţi şi practicieni în domeniul energetic chemaţi să aducă contribuţii sporite la rezolvarea problemelor energetice cu care se confruntă economia noastră naţională, la înfăptuirea prevederilor Directivelor Congresului al XII-lea al partidului pentru ramura energiei.

Lucrările ce vor fi prezentate la această sesiune acoperă o gamă largă din problemele prioritare ale actualei etape, ca şi a celei de perspectivă, ale energeticii naţionale : economisirea energiei, noi surse de energie, siguranţa în funcţionarea instalaţiilor, creşterea gradului de automatizare, îmbunătăţirea comportării echipamentelor energetice, noi soluţii constructive şi de proiectare a reţelelor electrice ş.a.

Fără îndoială că majoritatea referatelor acestei sesiuni se situează la un înalt nivel tehnico-ştiinţific, dar este esenţial de subliniat necesitatea aplicării practice a conţinutului lor de idei şi soluţii.

În acest sens consider necesară evidenţierea contribuţiilor şi propunerilor ce se vor desprinde din concluziile acestei sesiuni, în scopul completării normativelor, prescripţiilor şi instrucţiunilor M.E.E. referitoare la proiectarea, execuţia şi exploatarea instalaţiilor energetice, precum şi al transmiterii soluţiilor noi spre aplicare la toate întreprinderile de reţele electrice.

Caracterul de lucru pe care trebuie să-l imprimăm desfăşurării lucrărilor acestei sesiuni, spiritul critic care trebuie să anime dezbaterile, schimburile de opinii şi de idei ce vor avea loc pe baza tematicii abordate vor conduce, desigur, la stabilirea unor direcţii de mare eficienţă privind activitatea de viitor în sistemul nostru energetic.

În încheiere, vă rog să-mi permiteţi să aduc sincere mulţumiri organelor judeţean şi municipal de partid Suceava pentru atenţia, grija şi ajutorul permanent pe care le acordă activităţii întreprinderii de reţele electrice din localitate, pentru aprecierea dată acestei reuniuni a energeticienilor.

Avînd convingerea că reuniunea la care participăm nu va constitui doar începutul festivităţilor de sărbătorire a împlinirii a 20 de ani de existenţă a IRE Suceava, ci că ea se va înscrie în suita unor manifestări tehnico-ştiinţifice de prestigiu prin aportul practic-aplicativ ce-l va aduce activităţii energeticienilor noştri, urez succes deplin lucrărilor acestei sesiuni.

Cuvîntul rostit de ing. Ion St. Ion,

director tehnic al Centralei industriale de reţele electrice

În numele colectivului de conducere al C.I.R.E., adresez participanţilor la această consfătuire un călduros salut şi urări de succes deplin.

Sesiunea dv. îşi propune să facă bilanţul rezultatelor obţinute în munca de creaţie tehnico-ştiinţifică aplicată la sectorul reţelelor electrice, să evidenţieze succesele, preocupările actuale şi proiectele pentru viitor în scopul implementării în acest sector a realizărilor tehnicii moderne, perfecţionării instalaţiilor electroenergetice şi ridicării eficienţei economice a exploatării acestora.

Am convingerea că, în cadrul unei rodnice confruntări de idei, veţi dezbate soluţii, căi şi metode concrete de acţiune pentru aplicarea cu fermitate în sectorul reţelelor electrice a liniilor directoare ale politicii energetice a partidului, a indicaţiilor şi sarcinilor trasate de secretarul general al partidului, tovarăşul Nicolae Ceauşescu.

Stimaţi tovarăşi,

Sesiunea dv. se desfăşoară în condiţiile în care omenirea este confruntată cu criza de aprovizionare cu materii prime energetice, care a determinat:

— încetiniri sau stagnări în dezvoltarea economică a numeroase ţări, creşterea inflaţiei, a şomajului, adoptarea de măsuri pentru reducerea consumurilor în industrie, transporturi şi utilizări casnice;

— adoptarea de strategii de dezvoltare bazate pe restructurarea producţiei industriale, în sensul diminuării ponderii produselor energointensive, utilizării judicioase a tuturor resurselor materiale şi energetice;

— aplicarea de programe guvernamentale pentru adaptarea economiei la situaţia energetică deficitară, creşterea aportului altor resurse în balanţa energetică în vederea diminuării dependenţei de petrol;

— expansiunea fără precedent a cercetărilor geologice pentru descoperirea de noi zăcăminte de hidrocarburi;

— intensificarea fără precedent a cercetărilor ştiinţifice, concentrarea unor imense forţe ştiinţifice, valori materiale şi financiare pentru descoperirea sau punerea în valoare a unor surse alternative de energie.

Criza energetică a generat apariţia a numeroases studii de sinteză, scenarii, modele la scară mondială, care cercetează căile optime de soluţionare a acestei probleme de importanţă vitală pentru omenire, pentru trecerea, fără zdruncinări profunde a economiilor naţionale, la folosirea unor surse alternative.

Stimaţi tovarăşi,

Politica energetică a Partidului Comunist Român are drept obiectiv asigurarea resurselor energetice pentru înfăptuirea programelor noastre de dezvoltare economică şi socială în condiţiile influenţelor negative ale crizei energetice mondiale.

Programul-directivă de cercetare şi dezvoltare în domeniul energiei, care concretizează liniile directoare ale politicii energetice a partidului nostru, porneşte de la necesitatea ca în deceniul 1981—1990 România să devină independentă din punct de vedere energetic. Dezvoltarea bazei energetice este concepută prin :

1. Intensificarea cercetărilor geologice pentru descoperirea de noi zăcăminte şi creşterea rezervelor de ţiţei, gaze şi cărbune. Valorificarea resurselor energetice, inclusiv a celor sărace în conţinut energetic.

2. Intensificarea la maximum a valorificării potenţialului hidroenergetic, astfel încît în anul 2000 să utilizăm integral resursele noastre hidroenergetice.

3. Extinderea utilizării cărbunilor şi şisturilor în centralele termoelectrice, trecerea unor centrale funcţionînd pe hidrocarburi la alimentare cu lignit, în vederea valorificării superioare a ţiţeiului şi gazelor.

4. Punerea în valoare a noi resurse energetice prin conversia energiei solare, folosirea energiei geotermale, energiei eoliene şi a celei biochimice.

5. Raţionalizarea şi reducerea consumurilor de energie. Introducerea de tehnologii noi cu consumuri mici de energie, modernizarea şi creşterea randamentelor agregatelor consumatoare.

6. Optimizarea funcţionării sistemului energetic naţional, reducerea consumurilor proprii tehnologice în producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice.

Stimaţi tovarăşi

Apreciez că tematica sesiunii organizate de Întreprinderea de reţele electrice Suceava se încadrează în orientările şi sarcinile date de conducerea Ministerului Energiei Electrice. Ea se referă la problemele actuale specifice activităţii de transport, distribuţie şi utilizare raţională a energiei electrice şi termice.

Această sesiune, la care participă specialişti din producţie, cadre din institute de proiectare, cercetare şi din învăţămîntul superior, reprezintă o ilustrare a preocupărilor pentru imprimarea unei tehnicităţi ridicate activităţii de exploatare, proiectare şi construcţii-montaj în cadrul Întreprinderii de reţele electrice Suceava.

În acest context, conducerea Centralei industriale de reţele electrice apreciază activitatea valorosului colectiv de muncitori, maiştri şi ingineri din Întreprinderea de reţele electrice Suceava, care, sub conducerea organizaţiilor de partid, desfăşoară, într-un spirit de echipă, o activitate meritorie, ce situează întreprinderea în eşalonul fruntaş al centralei de reţele.

În activitatea IRE se remarcă trăsăturile definitorii ale unei concepţii bazate în măsură crescîndă pe cerinţele conducerii ştiinţifice :

— receptivitate faţă de nou, preocupări notabile pentru promovarea — uneori prin muncă de pionierat — a realizărilor tehnicii moderne în sectorul de reţele ;

— abordarea sistemică a problemelor de bază ale sectorului de reţele electrice ;

— tratarea cu responsabilitate a sarcinilor trasate de conducerea Ministerului Energiei Electrice, a Centralei industriale de reţele electrice pe linia progresului tehnic, în scopul ridicării nivelului tehnic al instalaţiilor, creşterii siguranţei în exploatare, asigurării calităţii energiei electrice furnizate consumatorilor ;

— preocuparea pentru elaborarea şi experimentarea sistemului complex de aplicaţii ale calculatoarelor de proces în conducerea reţelelor electrice, în vederea generalizării lor pe centrală.

Stimaţi tovarăşi

Practica a confirmat că cea mai bună sursă de energie o constituie economisirea acesteia. Apreciem faptul că Întreprinderea de reţele electrice Suceava desfăşoară acţiuni susţinute pentru utilizarea raţională a energiei la unii consumatori din domeniul minier şi al prelucrării lemnului şi reducerea consumului propriu tehnologic.

Ca urmare a indicaţiei conducerii Ministerului Energiei Electrice, s-au organizat, în cadrul atelierelor de proiectare, grupele de studiere a aspectelor energetice ale tehnologiilor, pentru a acorda sprijin competent consumatorilor în aprofundarea analizei bilanţurilor energetice ale proceselor tehnologice, pentru ca, împreună cu inginerii din uzine să aducă îmbunătăţiri acestora în vederea reducerii consumurilor.

Este limpede că în condițiile actuale nu putem obține rezultate apreciabile în reducerea consumurilor de energie decît în măsura în care lucrătorii din întreprinderile furnizoare de energie studiază temeinic tehnologiile, bilanțul energetic al liniilor de fabricație, randamentul agregatelor consumatoare și depun eforturi pentru a demonstra întreprinderilor rezervele existente în reducerea consumurilor specifice pe produs, a stabili și aplica, împreună cu specialiștii unităților consumatoare, măsuri eficiente în vederea realizării planurilor de producție cu consumuri energetice reduse.

Conducerea Ministerului Energiei Electrice a trasat sarcina de a se elabora un program de sistematizare și reducere a volumului de rețele electrice, în vederea diminuării suprafețelor de teren agricol ocupate și pentru a facilita desfășurarea lucrărilor agricole în cîmp, îndeosebi a celor cu mașini agricole de gabarit mare.

Pentru îndeplinirea acestor indicații, Centrala industrială de rețele electrice are în vedere următoarele căi de acțiune:

— adoptarea de noi soluții tehnice privind proiectarea în construcția rețelelor cu dublu circuit la linii de 10—220 și 400 kV;

— realizarea ieșirilor din stații cu linii cu circuite multiple de aceeași tensiune sau tensiuni diferite;

— dimensionarea rețelelor de medie tensiune la secțiuni corespunzătoare necesităților economice și realizarea lor cu dublu circuit pentru reducerea densității liniilor pe trasee aglomerate;

— reducerea unor linii situate pe trasee comune, renunțarea la unele linii de 110 kV ca urmare a injecțiilor la tensiuni superioare.

Una dintre sarcinile prioritare puse în fața IRE o constituie reducerea consumului propriu tehnologic prin măsuri privind îmbunătățirea exploatării, realizarea unor lucrări de investiții, precum și măsuri ce trebuie luate de consumatori.

Nivelul consumului tehnologic al Întreprinderii de rețele electrice Suceava demonstrează că există rezerve pentru diminuarea acestuia.

Tema teleconducerii rețelelor electrice ocupă un loc deosebit în tematica sesiunii. Centrala industrială de rețele electrice apreciază necesitatea introducerii calculatoarelor de proces în conducerea stațiilor și liniilor electrice drept o cerință a optimizării schemelor de funcționare, a creșterii fiabilității instalațiilor și a sporirii productivității muncii.

Întreprinderea de rețele electrice Suceava desfășoară o muncă de pionierat în acest domeniu, rezultatele experimentelor sale urmînd a fi sintetizate în vederea generalizării de către centrala noastră în celelalte întreprinderi de rețele.

Cu convingerea că această sesiune de comunicări tehnico-științifice va prilejui un fructuos schimb de experiență între participanți, care va contribui la îndeplinirea în bune condiții a sarcinilor trasate întreprinderilor de rețele electrice de conducerea Ministerului Energiei Electrice privind ridicarea calității și nivelului tehnic al exploatării, optimizarea funcționării sistemului de rețele electrice și valorificarea de noi resurse energetice, urez încă odată succes deplin lucrărilor sesiunii.

Cuvîntul rostit de dr. ing. Gh. Bălan,

director adjunct științific al ICEMENERG

Stimate tovarășe, stimați tovarăși,

Am plăcuta însărcinare să adresez inițiatorilor sesiunii de comunicări tehnico-științifice, ca și participanților, un călduros salut și urări de succes deplin, din partea Institutului de cercetări și modernizari energetice — ICEMENERG.

Personal, doresc să adaug la aceste urări măcar o parte din încărcătura emoțională pe care o încerc ori de cîte ori mă aflu pe meleaguri bucovinene.

Aici, în această adevărată grădină a țării, unde vestigiile unui trecut glorios te întîmpină la tot pasul, cu o densitate neegalată, oamenii și realizările lor sînt pe măsura locurilor.

Fiecare împrejurare în care am poposit la IRE Suceava a fost un prilej de adevărată încîntare, generată deopotrivă de frumusețea peisajului și de ospitalitatea deosebită a gazdelor.

Înclin să cred că, de-a lungul vremurilor, simbioza bucovineană, punînd alături măreţia naturii şi calitatea omului, într-o fericită interdependenţă, a avut ca rezultantă coordonatele ce definesc omul nou al acestui colţ de ţară.

Confirmă această concluzie faptul că organizatorul acestei sesiuni, şi gazda noastră în acelaşi timp, este o întreprindere de reţele electrice etalon.

Aici, la IRE Suceava, avem cea mai cuprinzătoare şi mai reprezentativă imagine a rolului pe care trebuie să-l îndeplinească o asemenea întreprindere în dinamica efortului naţional de integrare a României în comunitatea ţărilor avansate.

Energetica este un eşalon de avangardă al economiei naţionale, iar palmaresul realizărilor situează IRE Suceava printre fruntaşii acestui eşalon.

Este semnificativ faptul că participăm astăzi la cea de-a patra sesiune de comunicări, organizată de această întreprindere.

Numărul mare de referate, susţinute de energeticienii suceveni, precum şi nivelul ridicat al rezolvărilor pe care ni le oferă au antrenat numeroase instituţii prestigioase din domeniul învăţămîntului, cercetării, proiectării şi exploatării în energetică. Prezenţa reprezentanţilor a patru institute politehnice, a altor instituţii de învăţămînt superior, ISPE, CIRE arată că sesiunea depăşeşte interesul regional, ridicîndu-se la nivel republican.

Paleta largă a preocupărilor în cadrul IRE Suceava, precum şi receptivitatea faţă de nou constituie un ajutor preţios pentru cercetare, care găseşte aici un cadru adecvat de experimentare şi aplicare a noului.

Nu este întîmplător că între ICEMENERG şi IRE Suceava s-a stabilit demult o fructuoasă colaborare.

Aici a fost introdus, încă din anul 1968, primul echipament TELECIN pentru controlul şi afişarea numerică a principalilor parametri energetici.

Tot aici s-a experimentat telefonia de înaltă frecvenţă şi se experimentează astăzi sistemul informatic de conducere a unei IRE, şi tot aici se fac primele lucrări de introducere a unui sistem de teleconducere pe bază de calculator în reţeaua electrică de distribuţie a judeţului Botoşani.

Rezultatele obţinute aici constituie un gir al calităţii, pe care nu îl poate confirma decît o întreprindere-etalon.

Un alt aspect, deosebit de important al colaborării, îl constituie fondul de idei izvorîte din practica exploatării, idei pe care IRE Suceava le sesizează şi le furnizează cercetării spre rezolvare.

Toate acestea sînt posibile numai datorită nivelului înalt de măiestrie profesională a întregului personal al întreprinderii şi modului de organizare a activităţii.

Lucrările celor trei secţii şi cele 105 referate ce vor fi prezentate se încadrează judicios în problematica majoră a energeticii. Economisirea energiei, reducerea consumurilor tehnologice, surse noi de energie, conducerea şi siguranţa în exploatare, probleme de automatizare şi protecţie, prin modul în care sînt tratate, reprezintă garanţia înfăptuirii hotărîrilor Congresului al XII-lea al Partidului Comunist Român.

Analiza comportării în exploatare a echipamentului, în cadrul acestei întreprinderi-etalon, constituie un model de exploatare şi un exemplu.

Gazdele noastre, autori şi colaboratori la nu mai puţin decît 34 referate, ne asigură astfel că sînt hotărîte să-şi păstreze şi în viitor locul de întreprindere fruntaşă pe sector.

Şi ca un semn al preţuirii de care se bucură specialiştii din IRE Suceava, Consiliul ştiinţific al ICEMENERG, cu ocazia împlinirii a 20 de ani de activitate de cercetare departamentală organizată, a hotărît acordarea de distincţii unor cadre valoroase, cu autoritate profesională în sistemul energetic naţional, distincţii care vor fi înmînate la şedinţa de închidere a sesiunii.

Închei, urînd succes deplin lucrărilor, şi îmi exprim convingerea că această sesiune de comunicări reprezintă o contribuţie reală, atît pe plan tehnic, cît şi ştiinţific, la dezvoltarea sistemului energetic naţional.

Secţia I — Economisirea energiei electrice şi reducerea consumului propriu tehnologic în reţelele sistemelor electroenergetice. Surse convenţionale şi neconvenţionale de energie electrică

Raport general

Ing. **Romulus Sfichi**

— IRE Suceava —

Preocuparea pentru gospodărirea judicioasă a energiei şi combustibililor, aşa cum se ştie, reprezintă un imperativ permanent al politicii economice a tuturor statelor lumii. În ţara noastră, economisirea energiei se află pe un loc central în politica economică a partidului, constituind o sarcină de bază în toate ramurile economiei care au contingenţă cu extracţia, transformarea, transportul şi utilizarea tuturor formelor de energie primară, intermediară sau finală.

Importanţa asigurării continue şi în viitor a tuturor sectoarelor de activitate cu cantităţile de energie necesare, în condiţiile păstrării echilibrului ecologic natural, justifică pe deplin efortul considerabil pe care trebuie să-l depună toţi specialiştii din cercetare, învăţămînt şi producţie în scopul găsirii şi perfecţionării metodelor şi căilor de economisire a energiei şi de evitare a risipei acesteia.

Cele 27 de comunicări ale primei secţii din cadrul acestei sesiuni includ aspecte variate ale acestor preocupări, fiind împărţite, în funcţie de natura problemelor abordate, în două grupe.

Lucrările reflectă realizările şi preocupările unor colective de specialişti din instituţii de prestigiu din activitatea de cercetare şi proiectare, din învăţămînt şi producţie, şi anume : Institutul politehnic Iaşi, ISPE, ICEMENERG, Institutul de învăţămînt superior Suceava, Centrul de cercetări biologice Iaşi, Întreprinderile de reţele electrice Craiova, Bacău şi Suceava.

Prima grupă de lucrări a acestei secţii, şi care include 17 comunicări, se referă la economisirea energiei electrice şi reducerea consumului propriu tehnologic (cpt) în reţelele sistemelor electroenergetice.

Comunicările I.1.1 şi I.1.3 abordează o problematică de foarte mare actualitate, şi anume aceea privind determinarea şi normarea consumurilor tehnologice în reţelele electrice de distribuţie.

Comunicarea I.1.1 prezintă rezultatele unor calcule şi măsurători privind consumurile tehnologice de energie electrică în reţelele urbane, iar în comunicarea I.1.3 se prezintă o serie de metode pentru determinarea pe cale statistică a consumurilor proprii tehnologice în reţelele de medie şi joasă tensiune, uşor de aplicat de către personalul de exploatare.

Metodologia concepută în comunicarea I.1.3 foloseşte date din exploatare pentru o serie de reţele caracteristice, precum şi date obţinute pe baza unor măsurători ce se efectuează curent în reţele. Aceste metode statistice pentru determinarea consumurilor tehnologice oferă o precizie suficient de ridicată, fapt pentru care ele vor trebui adîncite şi experimentate în continuare în vederea generalizării lor.

În cadrul aceleiaşi problematici, comunicarea I.1.2 prezintă un set de programe de calcul care vizează urmărirea şi, în special, reducerea consumului propriu tehnologic în reţelele electrice de distribuţie, folosind date comune altor programe şi care, prelucrate, permit obţinerea unor informaţii cît mai corecte şi sintetice, cu un volum de muncă uman cît mai redus.

Setul de programe cuprinde trei grupe : programe de prelucrare a datelor din cele două baze de date (INVIC, BALANŢA), sau de pe cartele, programul de calcul propriu-zis şi programe de obţinere a situaţiilor centralizatoare (la nivel de întreprindere, secţie, centru, grup de posturi trafo).

Setul de programe conceput în cadrul comunicării I.1.2 este destinat întreprinderilor de reţele electrice în scopul efectuării bilanţurilor electrice proprii, stabilirii lucrărilor de ridicare a nivelurilor de tensiune în reţele (cu evaluarea valorică a acestor lucrări), cît şi determinării pe baze tehnice a cpt la nivel de centru, secţie sau întreprindere de distribuţie a energiei electrice.

În contextul problematicii abordate de comunicarea I.1.2 se situează şi comunicarea I.1.15, care se ocupă de evoluţia consumului de energie electrică în sectorul casnic al judeţului Suceava, prezentînd prognoza imediată a acestui consum şi făcînd propuneri de îmbunătăţire a datelor de intrare pentru programele de calcul automat RAJ şi BALANŢA.

Tema privind proiectarea, funcţionarea şi exploatarea economică a reţelor electrice, vizînd în special economisirea energiei, este abordată în mai multe comunicări din această grupă de lucrări.

Astfel comunicările I.1.5 şi I.1.6 prezintă moduri originale de determinare a secţiunilor conductoarelor reţelelor electrice de distribuţie utilizînd metode econometrice.

Comunicarea I.1.5 are în vedere optimizarea densităţii de curent în linii electrice ţinînd seama de conţinutul energetic al principalelor materiale, semifabricate, prefabricate şi operaţii tehnologice aferente construcţiei acestor linii. De asemenea, în cadrul acestei comunicări, se analizează reciclarea energiei din elementele constructive ale liniilor electrice după expirarea duratei lor de exploatare.

Energia înglobată în elementele liniilor, pierderile de energie electrică în linii pe durata funcţionării şi energia reciclată — după dezafectarea lor — se însumează într-o funcţie dependentă de secţiunea conductoarelor $W_t(s)$ care se optimizează. Densitatea de curent determinată cu acest criteriu este inferioară densităţii economice stabilită prin PE—M.E.E. 135/1975.

În comunicarea I.1.6, după trecerea critică în revistă a metodelor cunoscute pentru calculul secţiunii conductoarelor, se trece la determinarea secţiunii optime aplicînd metoda cheltuielilor totale actualizate.

Se efectuează un exemplu de calcul pentru o situaţie concretă şi se trasează graficul $A = f(s)$, demonstrîndu-se că A (cheltuielile totale actualizate) prezintă o valoare minimă pentru o anumită secţiune (s) ce reprezintă secţiunea optimă.

Funcţionarea economică a reţelelor electrice (pentru cazul concret al reţelelor electrice din administraţia IRE Suceava) este prezentată în comunicarea I.1.4.

În cadrul comunicării este abordată problema compensării puterii şi energiei reactive ca una din căile de optimizare a funcţionării unui sistem energetic cu aplicaţie practică în cadrul sistemului energetic zonal Suceava, prin folosirea surselor statice de putere reactivă (programul NEWOPT), în condiţiile existenţei compensatorului sincron cu plaja sa de variaţie de la — 30 la + 60 MVar. Lucrarea stabileşte politica de exploatare a surselor de putere reactivă în scopul realizării regimului optim, cu pierderi minime de putere.

În același domeniu, al compensării puterii și energiei reactive, se situează și comunicările I.1.8, I.1.9 și I.1.11, care au un pronunțat caracter de aplicabilitate practică în proiectarea și exploatarea rețelelor electrice de distribuție.

Astfel, în comunicarea I.1.8 se prezintă măsurătorile, prelucrarea acestora (utilizînd un program de calcul adecvat) și concluziile referitoare la amplasarea și exploatarea bateriilor de condensatoare în rețelele electrice de distribuție urbană. Comunicarea prezintă modul de alegere și montare a bateriilor de condensatoare de 0,4 kV în posturile de transformare urbane de MT/0,4 kV.

În comunicarea I.1.9 este abordată metoda compensării reactanței echivalente a LEA de MT (compensarea longitudinală) în scopul reglajului tensiunii rețelelor electrice rurale cu ajutorul condensatoarelor-serie.

Se prezintă o metodologie de calcul al parametrilor condensatoarelor și modul de rezolvare a problemelor ce apar, ca urmare a fenomenelor ce caracterizează în mod curent circuitele electrice cu condensatoare-serie. Comunicarea se finalizează cu descrierea modului de rezolvare practică a metodei, făcîndu-se propunerea de tipizare a unor asemenea instalații cu utilizare repetată în LEA de MT.

Comunicarea I.1.11 prezintă interdependența dintre fenomenele reactive și cele deformante în rețelele sistemelor electroenergetice, ca urmare a proliferării dispozitivelor pronunțat neliniare atît la consumatori, cît și la furnizorii de energie electrică. Plecînd de la această interdependență, se analizează cîteva probleme esențiale privind compensarea puterii reactive concomitent cu diminuarea armonicilor de curent și tensiune în instalațiile electroenergetice ale marilor consumatori industriali, prin dimensionarea corespunzătoare a filtrelor absorbante. De asemenea sînt abordate principalele aspecte privind calculul de verificare a acestor filtre și se fac referiri la eficiența tehnico-economică a promovării acestor instalații la marii consumatori industriali de energie electrică ce funcționează în regim reactiv și deformant.

Pornind de la faptul că întocmirea cît mai exactă a balanțelor energetice pe zone anume depinde de cunoașterea parametrilor T (timpul de utilizare a sarcinii maxime) și τ (timpul de pierderi), comunicările I.1.13 și I.1.14 au drept obiect determinările efectuate în cadrul IRE Suceava în legătură cu acești parametri.

Astfel, în cadrul lucrării I.1.13 se expun rezultatele prelucrării măsurătorilor efectuate pentru determinarea valorilor T și τ, corespunzătoare diferitelor perioade ale anului și pentru anumite zone geografice caracteristice teritoriului în care-și desfășoară activitatea IRE Suceava, iar în comunicarea I.1.14 se prezintă modul de realizare a măsurătorilor necesare în vederea determinării acestor parametri, precum și programul de calcul pentru prelucrarea automată a datelor rezultate din aceste măsurători. Cele două comunicări reliefează faptul că valorile T și τ ce se utilizează în mod curent (valabile pentru calcule de prognoză și proiectare) și care sînt luate din literatura de specialitate, admit erori de $\pm$ 10%. Valorile determinate de autori se apropie de un grad de precizie mai bun : $\pm$ 2%.

Problema bilanțurilor energetice constituie domeniul în care se înscriu comunicările I.1.7, I.1.10, I.1.12 și I.1.17. Bilanțul energetic, ca metodă de mare eficiență pentru identificarea tuturor posibilităților de raționalizare și economisire a energiei sub toate formele, este abordat în comunicările citate atît pentru întreprinderile de distribuție a energiei electrice, cît mai ales pentru marii consumatori industriali. Astfel comunicarea I.1.7 se referă la concluziile bilanțului energiei electrice al rețelelor IRE Bacău.

Pornind de la structura și caracteristicile rețelelor electrice aflate în administrația IRE Bacău, referatul prezintă fluxurile de energie electrică în elementele de rețea, gradul de încărcare și modul de utilizare a rețelelor și, respectiv, mărirea consumurilor proprii tehnologice pe elemente de rețea și pe ansamblul rețelelor.

Măsurile stabilite de autor, măsuri valabile pentru majoritatea întreprinderilor de rețele electrice din sector, vizează în mod deosebit următoarele direcții : creșterea tensiunii rețelelor electrice de transport, eliminarea transformărilor intermediare (35/15 kV, 35/6 kV, 20/6, kV, 15/20 kV), încărcarea transformatoarelor din posturile trafo la sarcina optimă.

Ceea ce este caracteristic și celorlalte comunicări în legătură cu elaborarea bilanțurilor energetice constă în promovarea tot mai accentuată a tehnicilor de prelucrare automată a datelor în scopul evidențierii unor măsuri generatoare de însemnate economii de energie. Comunicările I.1.10 și I.1.17 se ocupă de bilanțurile electrice în sectoarele economice prioritare ale județului Suceava : industria minieră și industria lemnului.

Ambele comunicări au la bază o amplă și profundă analiză a proceselor tehnologice, a organizării producției și muncii, știut fiind că cele mai eficiente măsuri de diminuare a consumurilor energetice își au originea în modernizarea tehnologiilor de bază folosite.

Astfel, în ramura minieră, atît în sectorul extracției cît și în sectorul preparării minereurilor, esențială pentru viitorul apropiat este măsura de trecere de la acționarea pneumatică (randament 10—25%) la acționarea electrică. În sectorul exploatării și industrializării lemnului, esențială este măsura care vizează mai buna preocupare în legătură cu valorificarea resurselor energetice secundare, alături de aprofundarea acțiunilor de îmbunătățire a tehnologiilor.

Elaborate într-o viziune sistemică și în cadrul unor echipe pluridisciplinare, bilanțurile electrice, care stau la baza comunicărilor I.1.10 și I.1.17, insistă asupra direcțiilor în care cercetarea tehnologică de profil trebuie să acționeze în perspectivă pentru realizarea unor consumuri energetice comparabile cu cele realizate pe plan mondial.

Comunicarea I.1.12 reprezintă o contribuție a autorului la îmbunătățirea metodologiei de elaborare a bilanțurilor energetice pentru cuptoarele electrice cu arc. Contribuția autorului este întemeiată pe elaborarea unor bilanțuri energetice pentru cuptoare electrice cu arc de la o întreprindere pentru fabricarea utilajelor și pieselor de schimb din domeniul industriei materialelor de construcții. În lucrare se dovedește că regimul energetic optim în care poate funcționa cuptorul cu arc corespunde situației cînd acesta primește maximum de putere pe arc.

Regimul real în care lucrează cuptoarele cu arc este cel deformant, datorită neliniarității arcului electric. Tocmai de aceea valorile teoretice de bilanț sînt mai mari decît cele de exploatare. În acest sens sînt propuse îmbunătățiri ale instrucțiunii E-12-61 (DGEMSI) privind analiza bilanțurilor energetice a cuptoarelor electrice cu arc.

În sfîrșit, comunicarea I.1.16 prezintă o realizare practică privind un recuperator de căldură adaptat la frigiderul cu absorbție în scopul preparării apei calde menajere în gospodăria casnică. Realizarea se înscrie pe linia acțiunilor de economisire a energiei în domeniul utilizărilor casnice.

Cea ce-a doua grupă de comunicări ale acestei secții se situează în domeniul surselor de energie, în mod deosebit al surselor neconvenționale, și cuprinde un număr de 10 lucrări. Primele 7 lucrări, aparținînd Institutului de învățămînt superior Suceava, Centrului de cercetări biologice Iași și IRE Suceava, tratează problema valorificării potențialului eolian din județul Suceava.

Astfel, comunicările I.2.1 și I.2.2 stabilesc premisele de valorificare a potențialului energetic eolian din podișul Sucevei, aducînd contribuții metodologice la determinarea acestui potențial. Comunicările au la bază cercetările efectuate de autori în perioada 1978—1980 în partea extramontană a județului Suceava.

Pe baza unui volum mare de date s-au putut stabili în mod judicios clase de viteze, asigurări și o microregionare a potențialului energetic eolian.

Comunicările I.2.3, I.2.4 și I.2.5 au ca domeniu de investigare realizarea unor modele de rotoare eoliene necesare agregatelor electroeoliene.

În comunicarea I.2.3 este prezentat studiul teoretic al rotorului eolian cu ax orizontal și pale plane și căile de îmbunătățire a coeficientului de utilizare a energei vîntului.

Fundamentarea teoretică aparţinînd autorilor este confirmată de rezultatele experimentale obţinute pe două rotoare cu 4, respectiv 6 pale plane. Comunicarea susţine soluţia rotoarelor cu ax orizontal şi pale plane, aceasta întrunind multiple avantaje tehnico-economice.

Comunicarea I.2.4 se referă la realizarea unui stand pentru testat modele de rotoare eoliene în vederea studierii parametrilor acestora, precum şi pentru optimizarea lor. Pe acest stand au fost testate un număr de opt modele de rotoare eoliene, cu diametre de maximum 400 mm, viteza aerului asigurîndu-se în domeniul 5—26 m/s.

Măsurarea puterii instantanee permite optimizarea, din punct de vedere energetic, a modelelor de rotoare.

Performanţele rotoarelor eoliene de tip Savonius (cu axa de rotaţie perpendiculară pe direcţia vîntului) sînt prezentate în comunicarea I.2.5. Comunicarea relevă faptul că rotoarele Savonius au performanţe modeste în ceea ce priveşte conversia energiei eoliene în energie mecanică, avînd coeficientul maxim de utilizare a vîntului scăzut (0,1). Se conchide că aceste tipuri de rotoare îşi pot găsi aplicabilitatea în practică datorită cuplului mare de pornire, ca demaroare pentru alte tipuri de rotoare, care normal pornesc greu.

Partea electrică a centralelor electrice eoliene este tratată în comunicările 1.2.6 şi 1.2.7, în care sînt abordate probleme ce apar în sistemele de conversie a energiei vîntului în energie electrică la parametrii constanţi. Menţinerea constantă a frecvenţei se poate realiza prin antrenarea la viteză constantă a generatoarelor sincrone sau asincrone, utilizînd un varietor mecanic cu reglaj automat al turaţiei de ieşire, sau folosind generatoare asincrone cu dublă alimentare şi turaţie de referinţă, respectiv generator sincron modulat în cîmp, antrenate la viteza motorului eolian.

În continuare se trage concluzia că cele mai indicate generatoare pentru centralele eoliene sînt cele asincrone cu dublă alimentare şi generatoarele sincrone cu cîmp modulat, care permit o antrenare la turaţia variabilă a agregatului eolian, necesitînd un reglaj de tensiune şi frecvenţă convenabil. Realizarea constructivă a generatoarelor sincrone cu cîmp modulat fiind o problemă dificilă, autorii s-au orientat spre realizarea unor aerogeneratoare utilizînd generatoare asincrone cu alunecare pozitivă.

Problema valorificării potenţialului hidraulic este tratată în comunicările I.2.8, I.2.9 şi I.2.10.

Comunicarea I.2.8 se ocupă de optimizarea exploatării centralelor hidroelectrice prin corelarea planurilor zilnice de exploatare cu planurile de prognoză a exploatării pe termen lung. Pornind de la faptul că graficul de sarcină impus de dispecer reflectă necesităţile de producţie energetică zilnică la nivelul sistemului energetic şi că planurile de prognoză pe termen lung au ca scop stabilirea cantităţilor optime de apă turbinată lunar, autorii au pus de acord cele două cerinţe cu aspect contradictoriu, rezultînd un optim legat direct de maximizarea eficienţei exploatării hidrocentralei.

Comunicarea I.2.9 se referă la utilizarea potenţialului hidroenergetic al judeţului Gorj. Lucrarea analizează bazinul hidrografic al cursurilor apelor din cadrul judeţului Gorj din punctul de vedere al posibilităţilor şi necesităţilor de amenajare hidroenergetică. Se are în vedere posibilitatea măririi debitelor disponibile ale rîurilor şi principalelor pîrîuri, în vederea măririi puterii disponibile la hidrocentralele existente, precum şi eventualele noi amenajări posibile.

Ultima comunicare din cadrul secţiei I.2.10 prezintă aspectele esenţiale ale programului de valorificare a debitelor şi căderilor mici de ape în legătură cu utilizarea potenţialului hidroenergetic al rîurilor şi pîrîurilor din judeţele Suceava şi Botoşani prin microhidrocentrale. Lucrarea scoate în evidenţă soluţiile tehnice de amenajare a microhidrocentralelor, diferenţiate în funcţie de caracteristicile naturale ale amplasamentelor stabilite.

Concluzii

Din analiza comunicărilor prezentate în cadrul primei secţii rezultă o mare varietate de aspecte privind economisirea energiei electrice şi reducerea cpt în reţelele sistemelor electroenergetice, cu concluzii şi propuneri de utilitate practică imediată. Dintre acestea se menţionează, ca esenţiale, următoarele :

— Necesitatea aprofundării studiilor legate de normarea consumurilor tehnologice proprii în reţelele electrice de distribuţie în scopul introducerii unui sistem raţional de urmărire a diminuării consumurilor nejustificate.

— Optimizarea regimurilor de funcţionare a reţelelor sistemului electroenergetic din punctul de vedere al reducerii pierderilor de putere activă, utilizînd strategii corespunzătoare privind sursele de putere reactivă.

— Promovarea atît la marii consumatori industriali de energie electrică, dar şi în reţelele electrice de distribuţie ale furnizorilor de energie a instalaţiilor de compensare a puterii reactive concomitent cu diminuarea regimului deformant, a cărui prezenţă se accentuează tot mai mult ca urmare a proliferării dispozitivelor pronunţat neliniare în reţelele sistemului electroenergetic.

— Necesitatea elaborării bilanţurilor electroenergetice într-o viziune sistemică, corelate şi cu celelalte bilanţuri ale întreprinderilor industriale, cum ar fi bilanţurile termice, gaze, aer comprimat etc. Un accent deosebit se impune a fi pus pe măsurile de ordin tehnologic care vizează economisirea energiei, ceea ce implică elaborarea bilanţurilor în cadrul unor colective lărgite de specialişti : energeticieni, tehnologi, informaticieni, economişti ş.a.

În strînsă legătură cu economisirea energiei electrice se află acţiunea de punere în valoare a unor potenţiale energetice încă insuficient folosite, cum sînt potenţialul eolian şi, respectiv, potenţialul hidroenergetic al debitelor şi căderilor mici de ape. Din acest punct de vedere, concluzia care se desprinde din comunicările prezentate constă în necesitatea realizării unei concepţii unitare de proiectare, execuţie şi mod de exploatare a centralelor electrice mici şi foarte mici, în scopul creşterii rentabilităţii lor.

În sfîrşit există convingerea că dezbaterile ce vor urma, schimburile de opinii şi idei pe marginea problematicii puse în discuţie vor contribui la conturarea unor direcţii cît mai juste de urmat în viitor.

Set de programe privind urmărirea și reducerea consumului propriu tehnologic în rețelele electrice de distribuție a energiei electrice din gestiunea I.R.E. Suceava

Ing. Ov. Mustață
Ing. P. I. Ani
Ing. M. Daniliuc
Inform. R. Tecuceanu
— IRE Suceava —

Considerații generale

Urmărirea consumului propriu tehnologic în transportul și distribuția energiei electrice (pierderile de energie în rețele) constituie sarcina de bază a oamenilor muncii din cadrul sistemului energetic. În vederea obținerii unor informații cît mai precise, într-un interval de timp redus, cu privire la nivelul pierderilor de putere tehnice în rețelele electrice, s-a trecut la prelucrarea automată a datelor. Necesitatea prelucrării pe calculator a informațiilor referitoare la structura și consumul rețelelor electrice a fost determinată în primul rînd de volumul mare de calcul, cît și de rapiditatea modificării datelor de prelucrat.

I.S.P.E. București a elaborat un set de programe (FAST, RAM, RAJ) care determină, pe baze tehnice, pierderile de putere în rețelele de înaltă, medie și joasă tensiune, cît și schemele optime de funcționare prin compararea variantelor (FAST). Aceste programe prelucrează informațiile introduse pe cartele de date referitoare la structura rețelelor, cît și măsurătorile efectuate la anumite ore în anumite perioade de timp.

Referindu-ne, în special, la rețelele arborescente de joasă tensiune, programul RAJ, pe baza evidenței tehnice și a măsurătorilor de sarcină efectuate la toate posturile de transformare în perioada de iarnă, la orele de vîrf, determină consumul propriu tehnologic pe PT (pierderile de putere procentuale și în kW) și nivelurile de tensiune în nodurile rețelelor. Acest program este axat pe rezolvarea nivelului de tensiune (căderi de tensiune de maximum 7% pentru rețele aeriene și 5% pentru rețele în cablu), neurmărind și reducerea continuă a c.p.t. Pentru căderi de tensiune peste limita impusă, programul propune trifazări sau majorări de secțiuni în limitele impuse de program, și nu de utilizator.

Măsurătorile de sarcină care stau la baza calculului circulației de curenți pe tronsoane trebuie efectuate simultan. Aceasta implică un efort deosebit pentru că : posturile de transformare sînt dispersate, unele se găsesc în locuri greu accesibile, acțiunea de măsurători de sarcină necesitînd un consum mare de carburanți. Multitudinea de factori care intervin în timpul măsurătorilor influențează negativ calitatea acestora.

Datele de ieșire, respectiv c.p.t. și nivelurile de tensiune din noduri, sînt date pentru fiecare PT, nefăcîndu-se situații centralizatoare pe centre, secții etc., ordonarea PT după anumite criterii (c.p.t. maxim, cădere de tensiune maximă), listarea posturilor cu lucrări prioritare etc., ceea ce determină un volum mare de muncă în stabilirea lucrărilor de R.N.T.

Odată determinat c.p.t. tehnic, pentru localizarea posturilor cu pierderi mari de energie, s-a elaborat un alt program de către C.T.C.E. Suceava, intitulat BALANȚA, care stabilește c.p.t. real ca diferență între energia intrată în conturul PT (sau a axei) și energia ieșită din acest contur. Prin compararea c.p.t. tehnic, în procente (de putere), cu c.p.t. real, în procente (de energie), se pot trage concluzii, destul de aproximative, cu privire la zonele cu consumuri proprii nejustificate.

În acest context, IRE Suceava și-a propus elaborarea unui set de programe în scopul urmăririi și în special al reducerii pierderilor în rețelele de distribuție, folosind date comune altor programe, care, preluate și prelucrate, să permită obținerea unor informații cît mai corecte și sintetice, cu un volum de muncă umană cît mai redus.

Domeniul de utilizare

Pachetul de programe este destinat întreprinderilor de rețele electrice pentru efectuarea bilanțurilor energetice proprii, stabilirea lucrărilor de ridicare a nivelurilor de tensiune, evaluînd valoarea acestor lucrări, cît și determinarea pe baze tehnice a c.p.t. la nivel de centru, secție, întreprindere pentru distribuție.

Metoda și algoritmul de calcul

Descrierea ieșirilor

Două mari programe, INVIC (referitor la evidența tehnică a instalațiilor tehnologice și a echipamentelor din rețelele electrice de distribuție și la consumatorii alimentați din acestea) și BALANTA (referitor la determinarea c.p.t. real pe PT sau axă) alimentează automat setul de programe de calcul și reducere a c.p.t.

Setul de programe permite utilizatorului să-și stabilească patru intervale de căderi de tensiune (de exemplu 3—5%; 5—7%, 7—10% și peste 10%), să-și aleagă un nivel maxim admis de cădere de tensiune pe PT (de exemplu 5%), un nivel maxim de consum tehnologic pe IRE (secție, centru sau un grup de PT) (de exemplu 5,58%), secțiunea minimă cu care se începe majorarea de secțiuni și trifazarea

și limita superioară pînă la care se poate ajunge, atît pentru aerian cît și pentru cabluri.

Cunoscînd evoluția în timp a consumurilor și curba de sarcină din raza fiecărui post de transformare, din energiile date de BALANTA (atît cea intrată în conturul PT, cît și a fiecărui consumator cu putere instalată de peste 5 kW), programul determină circulația de curent pe fiecare tronson (eliminînd astfel măsurătorile de sarcină).

Structura și configurația rețelei, consumatorii și localizarea lor pe tronsoane, sînt preluate automat din baza de date INVIC.

Cu aceste date, setul de programe face două mari categorii de calcule:

A — calcule la nivel de plecare a fiecărui PT rulat;

B — situații centralizate la nivel de întreprindere (secții, centre sau grupuri de PT).

A. *Calcule la nivel de plecare*

Pentru fiecare plecare (ca o înlănțuire de tronsoane de circuit de tip INVIC) se calculează:

a) nivelul de tensiune pe faze în nodurile finale ale tronsoanelor;

b) numărul de abonați cu căderi de tensiune în intervalele impuse;

c) curentul pe conductorul de nul în nodurile inițiale ale tronsoanelor;

d) pierderile de putere pe tronsoane;

e) rapoartele între curentul real și cel limită termic, cît și între densitatea reală de curent și cea admisibilă;

f) centralizarea la nivel de plecare a punctelor b) și d) (la acest ultim punct se trece de la pierderi de putere la pierderi de energie), cît și indicarea nodului cu căderea maximă de tensiune;

g) dacă este îndeplinită la nivel de tronson una din condițiile – curent pe nul diferit de zero sau c.p.t. pe plecare mai mare decît cel impus, sau cădere de tensiune mai mare decît cea impusă —, se trece la reechilibrarea abonaților, indicîndu-se noua amplasare pe faze a acestora, cît și recalcularea punctelor anterioare;

h) în cazul în care una din ultimele două condiții de la punctul g) nu este îndeplinită după reechilibrare, se procedează astfel:

h.1) cădere de tensiune maximă mai mare decît cea impusă, se încearcă trei variante:
- majorarea secțiunilor pas cu pas dinspre PT spre punctele cu tensiuni necorespunzătoare;
- trifazarea tronsoanelor cu tensiuni necorespunzătoare (dacă este cazul);
- combinarea primelor două variante.

Din toate aceste soluții se alege cea mai economică din punctul de vedere al costului investiției.

h.2) c.p.t. (de energie, în procente) mai mare decît cel impus, caz în care programul de calcul mărește secțiunea fiecărui tronson pas cu pas pînă la nivelul rezolvării c.p.t. (fără a produce strangulări pe plecare), alegîndu-se varianta cea mai economică.

Atît pentru cazul h.1, cît și h.2 (dacă este cazul), se listează modificările constructive ale rețelei, cu recalcularea punctelor a—f și h) (dacă s-au făcut trifazări).

B. *Situații centralizate*

Aceste situații se fac atît la nivel de post de transformare B.1 (prin centralizarea datelor de pe plecări) cît și la nivel de posturi de transformare rulate (B.2).

B.1. — încărcarea transformatorului;
- căderea maximă de tensiune pentru situația din teren;
- numărul de abonați cu căderi de tensiuni pe intervalele impuse;
- c.p.t. tehnic (în kWh și %) pentru situația din teren (care se transmite automat programului BALANTA);
- numărul abonaților de reechilibrat, cît și c.p.t. după reechilibrare;
- lungimea totală a tronsoanelor ce trebuie trifazate, respectiv majorată secțiunea;
- c.p.t. final după rezolvarea tensiunii;
- valoarea lucrării pentru rezolvarea tensiunii.

Obs. 1. După listarea PT care necesită lucrări pentru rezolvarea tensiunii, se face situația centralizată B.2. a tuturor acestor PT (indicîndu-se toate punctele de la B.1, dar centralizat).

Obs. 2. Pentru rezolvarea c.p.t. impus pe întreprindere (secție, centru), deși la nivel de plecare s-au dat soluții pentru ca c.p.t. pe PT să fie mai mic sau egal cu cel impus, în situațiile centralizate B.1 apar numai acele PT la care efectul lucrărilor de c.p.t. este maxim și aportul lor este suficient condiției impuse inițial.

Pachetul de programe — performanțe

Pachetul de programe este format din trei mari categorii de programe (fig. 1):

1. Programe de preluare a datelor din cele două baze de date (INVIC, BALANTA), sau de pe cartele în lipsa uneia sau ambelor baze, cît și de structurare a informațiilor preluate. În cazul utilizării cartelelor, este asigurată o validare logică și sintactică a acestora.

2. Programul de calcul, constituit din module funcționale, fiecare rezolvînd o problemă bine definită, permite realizarea mai multor

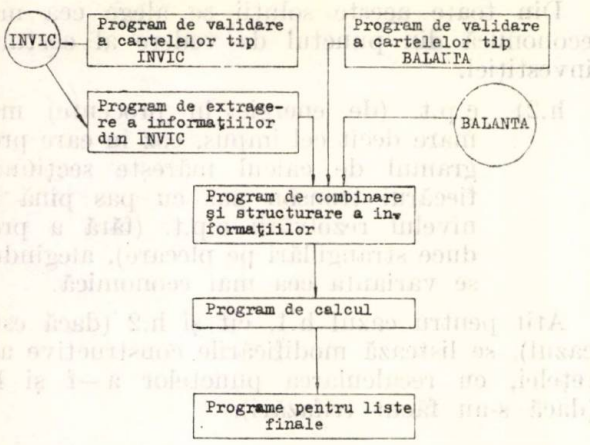


Fig. 1

variante de calcul, în funcție de necesitățile de moment ale utilizatorului (c.p.t. pentru BALANTA, lista de lucrări pentru rezolvarea nivelului de tensiune sau c.p.t. la nivel de plecare, încărcarea fișierului pentru obținerea situațiilor centralizatoare etc.).

3. Programe de obținere a situațiilor centralizatoare (la nivel de întreprindere, secție, centru, grup de PT).

Pachetul de programe este în așa fel elaborat încît, deși vehiculează un număr de informații la nivel de plecare, resursele de memorie de lucru să fie minime. Astfel, cel mai lung program (cel de calcul) ocupă maximum 40 de pagini de memorie și nici un program nu utilizează mai mult de două unități de bandă magnetică și o unitate de discuri (AD sau MD).

Funcționarea economică a rețelelor I.R.E. Suceava

Ing. **Tr. Chiriac**
Ing. **A. Grămadă** — ISPE București —
Ing. **G. Manea** — IRE Suceava —

1. Scopul lucrării

Dezvoltarea actuală și de perspectivă a sistemului energetic se caracterizează prin necesitatea asigurării unei funcționări optime, din punct de vedere tehnico-economic, a acestuia.

Unul dintre mijloacele de optimizare a funcționării unui sistem energetic este compensarea puterii reactive.

La proiectarea unui sistem, odată cu stabilirea variantei de rețea necesară, corespunzătoare creșterii de consum prevăzute, se stabilește și necesarul de surse de compensare pentru optimizarea funcționării sistemului.

În acest mod se determină necesarul global de surse pe perioada analizată. Politica de utilizare a acestor surse, precum și modificări ulterioare apărute în dezvoltarea sistemului (ca, de exemplu, nerealizarea consumurilor respective sau întîrzieri în apariția unor obiective) impun necesitatea studierii, pentru perioada imediat următoare și în condițiile unor date mult mai certe privind evoluția sistemului, a funcționării sistemului pentru determinarea regimului optim de funcționare.

Un astfel de studiu s-a efectuat pentru IRE Suceava în 1979 de către ISPE, vizînd analiza regimurilor de funcționare a rețelelor IRE în etapa 1979 și 1980.

Din studiile de compensare efectuate pînă în 1977, s-a prevăzut ca pînă în 1980 în IRE Suceava să se instaleze circa 98 MVar, baterii de condensatoare și un compensator sincron de 60 MVar.

Aceste cantități erau prevăzute de prognozele de consumuri cunoscute la data elaborării studiilor. Față de aceste prognoze, prognoza din 1979 prevede consumuri care sînt cu circa 30% mai mici, la vîrf de seară iarna 1980, decît cele prevăzute în 1977.

În tabelul 1 se dau, pe paliere de consum, comparativ, prognozele de consumuri pe total țară și defalcat pe IRE Suceava, așa cum s-au cunoscut ele în 1977 și 1979.

Tabelul 1

Prognoza de putere activă (MW) etapa 1980

	Prognoza 1977		Prognoza 1979		
	Total țară	Total IRE Suceava	Total țară	Total IRE Suceava	% din prognoza 1977
VSI	12 700	358	10 800	257	71
VDV	10 100	237	8 620	179	76
GNI	9 500	239	8 115	171	72

Diferențele mari care apar între cele două prognoze se datoresc măsurilor generale de reducere a consumului la nivelul întregii țări. În aceste condiții de consumuri reduse, menținerea în funcțiune a tuturor surselor de compensare duce la supracompensarea rețelei, deci la regimuri neeconomice de funcționare.

S-a căutat determinarea politicii de exploatare a surselor existente pentru obținerea regimului optim, cu pierderi minime de putere.

2. Metodologia de calcul

Problema de optimizare a regimului de funcționare a fost tratată ca o problemă de alocare optimă a bateriilor de condensatoare, în modul

următor: s-a considerat posibil să se aloce baterii numai în nodurile în care IRE a instalat sau urmează să instaleze baterii de condensatoare. Cantitatea maximă de alocat reprezintă puterea finală a bateriei din nodul respectiv.

Bateriile fiind fracționate, programul urma să stabilească, funcție de regim, ce baterii, în ce noduri și ce cote din ele sînt necesare în funcțiune. Programul de amplasare a bateriilor de condensatoare presupune regimul de bază (fără baterii) de la care se pleacă, optimizat din punct de vedere al încărcării cu reactiv a generatoarelor. În cadrul IRE Suceava, generator s-a considerat compensatorul sincron cu plaja sa de variație de la −30 la +60 MVar.

2.1. *Criterii de optimizare a regimurilor de funcționare prin alocare de surse statice. Programul NEWOPT*

În ISPE s-a elaborat un program de calcul, programul NEWOPT, care stabilește pentru un regim dat necesarul de surse statice pentru optimizarea regimului de funcționare.

Programul constă în determinarea, pentru o cantitate de reactiv dată de instalat în baterii de condensatoare, a modului de repartizare a surselor de reactiv, astfel încît să se realizeze o reducere maximă a pierderilor. Efectul compensării puterii reactive într-un nod asupra pierderilor este dat de variabila:

$$\mu i = \frac{\Delta p}{\Delta Q_{ci}}$$

— valori pozitive ale lui μ_i indică cu cît scad pierderile în momentul în care în nodul i a fost compensat 1 MVar.

Vectorul μ obținut pentru toate nodurile sistemului indică o prioritate în compensare. Presupunem că se calculează un regim și pentru nodurile regimului se calculează indicatorul μ_i.

Nodului cu μ_i maxim i se alocă cantitatea ΔQ_i.

Urmează apoi calculul din nou al regimului staționar împreună cu indicatorii μ_i. Din nou nodului cu μ_i maxim i se alocă cantitatea ΔQ_i. Procesul se repetă pînă cînd toate nodurile au ajuns la aceeași valoare a indicatorului μ_i.

Din cele expuse se deduce următorul algoritm de amplasare optimă a bateriilor de condensatoare, algoritm ce stă la baza programului NEWOPT:

— se calculează un regim staționar și se determină un prim set de indicatori μ_i;

— se dă o variație de reactiv ΔQ_i nodurilor și se calculează un alt regim staționar, determinînd alt set de indicatori, μ_i^2.

Din aceste două valori, μ_i^1 și μ_i^2, se trasează o dreaptă $\mu = f(Q)$ pentru fiecare nod, unde:

$$\mu_i = a_i \ \Delta Q_i + b_i$$

$$a_i = \frac{\mu_i^2 - \mu_i^1}{\Delta Q_i}$$

$$b_i = \mu_i^2 - a_i \Delta Q_i$$

Din dreapta asociată fiecărui nod se determină cantitatea de reactiv de amplasat în nod pentru a ajunge la aceeași valoare μ_i, valoare corespunzătoare pierderilor minime pe sistem, pentru cantitatea de reactiv de alocat. Procesul este iterativ, cantitatea de reactiv alocîndu-se în trepte.

Curba pierderilor de putere funcție de reactivul alocat este o parabolă (fig. 1), care prezintă un minim, dincolo de acest minim pierderile începînd să crească, datorită efectului dăunător asupra pierderilor al supracompensării.

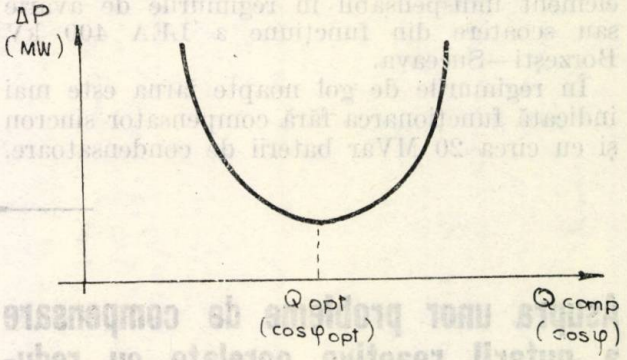


Fig. 1. Curba pierderilor de putere funcție de puterea reactivă compensată în nod.

3. Analiza regimurilor de funcționare Rezultate de calcul

3.1. *Etapa 1979.* Pentru etapa 1979 s-au analizat numai regimurile de iarnă, palierele de vîrf seara iarna (VSI) și gol noapte iarna (GNI).

În regim de VSI fără surse de compensare, tensiunile au valori scăzute, cuprinse între (109—112) kV, iar coeficienții de pierderi μ_i pe nodurile IRE sînt cuprinși între (60—85) kW/MVar. În regim optimizat sînt necesari 55 MVar baterii de condensatoare în funcțiune (în studiu se dă defalcarea acestora pe stații), coeficienții de pierderi μ_i pe noduri scad la valori cuprinse între (0—5) kW/MVar. Pierderile pe sistem între cele două regimuri scad cu 1,57 MW, din care 0,83 MW în rețelele IRE Suceava.

În regimuri de gol noapte iarna (GNI) sînt în funcțiune o cantitate de 54 MVar, practic aceeași cantitate ca și în regim de vîrf seara iarna. Se obține o reducere a pierderlor de 1,7 MW pe sistem, din care în rețeaua IRE 0,37 MW.

3.2. *Etapa 1980.* Pentru etapa 1980 s-au analizat regimuri de vară și de iarnă. S-a considerat în funcțiune compensatorul sincron de 60 MVar montat pe terțiarul AT de 200 MVA 220/110 kV.

În regimurile de vîrf de vară, vîrf dimineață vara și vîrf seară vara, regimul optim se obține cu compensatorul în funcțiune și fără baterii de condensatoare. În regimurile de gol este necesară funcționarea cu circa 26 MVar baterii de condensatoare în funcțiune și compensatorul sincron oprit.

Pentru regimurile de iarnă, apariția liniei de 400 kV Borzești—Suceava, linie încărcată cu circa 140 MW în regim de vîrf, injectează circa 40 MVar în Suceava. În aceste condiții, regimul optim se obține cu compensatorul sincron încărcat la circa 40 MVar și fără baterii de condensatoare.

Menținerea compensatorului sincron în funcțiune reprezintă un plus de siguranță pentru funcționarea sistemului în regim normal și un element indispensabil în regimurile de avarie sau scoatere din funcțiune a LEA 400 kV Borzești—Suceava.

În regimurile de gol noapte iarna este mai indicată funcționarea fără compensator sincron și cu circa 20 MVar baterii de condensatoare.

Din analiza efectuată se observă că utilizarea surselor de putere reactivă variază funcție de schema de rețea și palierul de consum. Funcționarea în regim optim sau cît mai aproape de acesta constituie o sarcină de bază a dispecerului IRE, conducînd la pierderi minime în rețea și nedepășirea cifrelor de plan.

Concluzii

Compensarea puterii reactive este unul din mijloacele posibile și necesare de optimizare a regimurilor de funcționare ale IRE. Periodic, în cadrul studiilor de dezvoltare a sistemului, ISPE stabilește necesarul de surse de compensare de instalat în IRE-uri în etapa analizată. Acest necesar, stabilit ca valoare globală la nivelul IRE-urilor, urmează a fi apoi defalcat de către acestea, optimizarea amplasării surselor făcîndu-se de către fiecare IRE în parte.

De asemenea, prin studii de detaliu, realizate pentru perspectiva imediat următoare, IRE stabilește politica de utilizare a surselor de putere reactivă pe diverse paliere de consum.

În felul acesta se obține o funcționare optimă din punct de vedere economic, la minim de consum tehnologic.

Asupra unor probleme de compensare a puterii reactive corelate cu reducerea regimului deformant în instalațiile electroenergetice

Ing. **R. Sfichi**
— IRE Suceava —

1. Considerații generale

Față de efectele nocive ale regimului deformant în funcționarea instalațiilor electroenergetice, se caută ca prin adoptarea unor măsuri corespunzătoare să se limiteze nivelul de armonici superioare prin mijloace tehnice adecvate [4].

Aceste măsuri vizează, pe de o parte, reținerea pe cît posibil la locul de producere a armonicilor superioare și, pe de altă parte, dacă acestea circulă și prin anumite linii și stații din sistemul electroenergetic, valorile lor să fie cît mai reduse.

Mijloacele tehnice întrebuințate în prezent pentru limitarea nivelului de armonici în sistemele electroenergetice se bazează în principal pe utilizarea filtrelor de *refulare* sau a filtrelor de *absorbție*.

La început s-au utilizat filtrele de refulare în scopul protejării instalațiilor din întreprinderile industriale de efectele nedorite ale prezenței armonicilor.

Un filtru de refulare (fig. 1) este realizat prin înserierea cu bateria de condensatoare a unei bobine de reactanță X_B în aer (bobină de dezacordare), astfel încît reactanța totală $X_B - X_C$ să aibă caracter capacitiv pentru frecvența fundamentală și inductiv pentru frecvențele armonicilor canonice (de rang 5 și mai mult, $k \geqslant 5$).

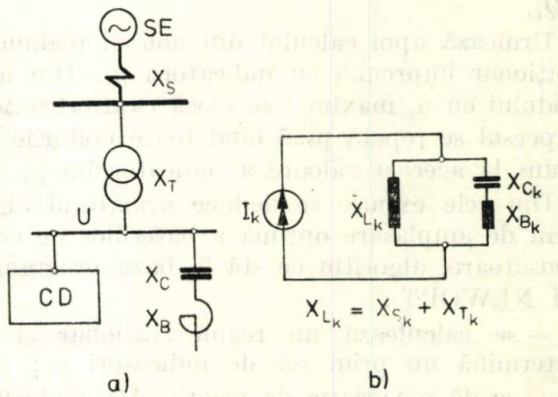


Fig. 1. Filtru de refulare.
a — schema de principiu; *b* — schema echivalentă a impedanțelor armonice pe fază.

În acest fel se evită rezonanța între bateria de condensatoare și rețea la armonicile superioare generate de consumatorul deformant (*CD*) și respectiv de sistem.

Pentru ca filtrul refulant să îndeplinească acest deziderat, este necesar ca

$$X_{B_{k_m}} - X_{C_{k_m}} \geq X_{C_{k_m}} \Rightarrow X_B \geq \frac{2}{k_m^2} X_C, \quad (1)$$

în care k_m este rangul minim al armonicilor superioare indezirabile [13].

Deoarece tensiunea la bornele bateriei de condensatoare crește cu $a\%$ dacă bobina de dezacordare are reactanța procentuală $a\%$, pentru dimensionare este indicat ca

$$X_B \geq 1{,}5 \frac{X_C}{k_m^2} \quad (2)$$

Soluția cu filtru de refulare elimină pericolele de supraîncărcare a bateriei de condensatoare și de supratensinoare prin rezonanță armonică a echipamentului rețelei. De asemenea, filtrul de refulare reduce supratensiunile la manevra de conectare a bateriei de condensatoare la bare [4].

Filtrele de refulare au însă dezavantajul că nu contribuie la diminuarea valorii coeficientului de distorsiune a tensinii în rețea și în sistem. Mai mult decît atît, aceste filtre refulînd armonicile în rețea și sistem, se creează condiții, insuficient cunoscute, de producere a unor avarii grave [10]. Din aceste cauze filtrele de refulare se utilizează doar la bateriile de mică putere și la instalații vechi, eixstente, la care adaptarea bobinelor de dezacordare este mai ușor realizabilă [4]. În prezent mijlocul cel mai eficace pentru atenuarea regimului deformant îl constituie filtrele de absorbție. Aceste filtre (fig. 2) sînt realizate sub forma simplă a unor scheme constituite din bobine și condensatoare dispuse în ramuri rezonante-serie, conectate în paralel la barele consumatorului deformant. În acest fel filtrul va absorbi în întregime curentul armonic pe care a fost acordat și într-o proporție mai redusă și curenți armonici de rang apropiat. Acest gen de filtre au proprietatea de a proteja de efectele armonicilor atît instalațiile industriale, cît și rețeaua de alimentare.

Filtrele de absorbție, conectate în general la barele de medie tensiune ale marilor consumatori industriali de energie electrică, se folosesc la instalații noi, asigurînd totodată și puterea reactivă capacitivă la frecvența fundamentală, necesară compensării puterii reactive la acești consumatori. Efectul combinat de filtrare-compensare al filtrelor de absorbție și analiza problemelor care apar formează obiectul acestei lucrări. Aceasta deoarece în mai multe

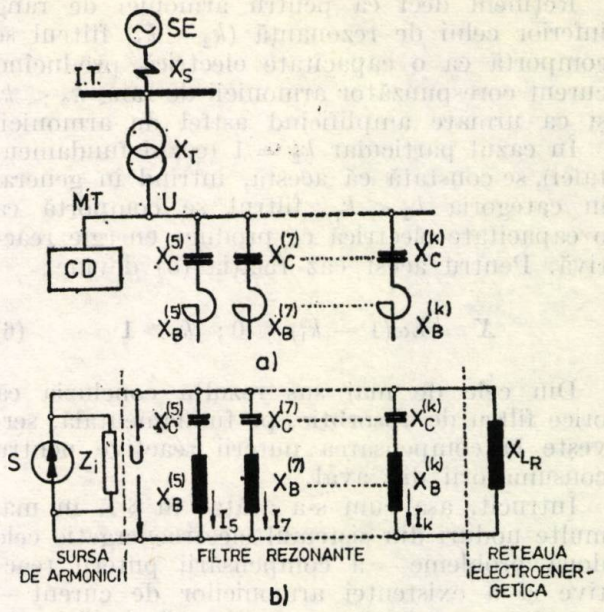


Fig. 2. Filtru de absorbție.

a — schema de principiu; *b* — schema echivalentă a impedanțelor armonice pe o fază.

noduri din sistemul energetic problema diminuării efectului deformant apare concomitent cu problema îmbunătățirii factorului de putere.

2. Comportarea filtrelor de absorbție pentru frecvențe diferite față de cele de rezonanță

Să presupunem cazul simplu al unui filtru de absorbție acordat pe frecvența $f_{k_1} = k_1 f$, în care f reprezintă frecvența fundamentală. Evident că pentru această frecvență, impedanța filtrului este nulă:

$$X_{k_1} = Lk_1\omega - \frac{1}{Ck_1\omega} = 0; \quad \omega = 2\pi f \quad (3)$$

Pe barele pe care este montat filtrul sînt prezente însă și alte armonici, de ranguri k mai mari sau mai mici decît k_1, printre care și cazul $k = 1$ (fundamentala). Pentru aceste armonici, filtrul nu mai respectă condiția dată prin relația (3). Examinînd comportarea filtrului pentru o altă armonică, de rang k_2, avem:

$$X_{k_2} = Lk_2\omega - \frac{1}{Ck_2\omega} \neq 0 \quad (4)$$

Explicitînd capacitatea C din (3) și introducînd valoarea obținută în (4), se obține:

$$X_{k_2} = L\omega\left(k_2 - \frac{k_1^2}{k_2}\right) \quad (5)$$

Din (3) rezultă că filtrul se comportă capacitiv ($X_{k2} < 0$) dacă $k_2 < k_1$ și, respectiv, inductiv ($X_{k2} > 0$) dacă $k_2 > k_1$.

Reținem deci că pentru armonici de rang inferior celui de rezonanță ($k_2 < k_1$) filtrul se comportă ca o capacitate electrică, producînd curent corespunzător armonicii de rang $k_2 < k_1$ și ca urmare amplificînd astfel de armonici.

În cazul particular $k_2 = 1$ (cazul fundamentalei), se constată că acesta, intrînd în general în categoria $k_2 < k_1$, filtrul se comportă ca o capacitate electrică ce produce energie reactivă. Pentru acest caz relația (5) devine:

$$X = L\omega(1 - k_1^2) < 0\,; \quad k_1 > 1 \tag{6}$$

Din cele de mai sus rezultă concluzia că orice filtru de absorbție, pe fundamentală, servește la compensarea puterii reactive pentru consumatorii din aval.

Întrucît, așa cum s-a arătat în § 1, în mai multe noduri din sistemul electroenergetic cele două probleme — a compensării puterii reactive și a existenței armonicilor de curent — necesită o rezolvare concomitentă și eficientă, raționamentele prezentate atestă faptul că acest mod de rezolvare este tehnic și economic posibil.

3. Aspecte esențiale privind dimensionarea filtrelor de absorbție ca surse specializate de putere reactivă

Problema calculului de dimensionare a filtrelor de absorbție este amplu tratată în literatura de specialitate din țara noastră [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Se constată însă o mare diversitate de puncte de vedere cu privire la criteriile și metodologiile de dimensionare a acestor filtre, astfel încît ele să servească și ca surse specializate de putere reactivă [1], [2], [3].

De aceea, în cele ce urmează, ne vom referi la cîteva aspecte, considerate esențiale, cu privire la promovarea acestei măsuri comune privind compensarea puterii reactive și atenuarea regimului deformant în rețelele sistemului electroenergetic.

Așa cum s-a arătat, bateriile de condensatoare-șunt montate pentru compensarea puterii reactive amplifică fenomenul deformant, iar filtrele montate pentru reținerea curenților armonici, așa cum s-a văzut, aduc un aport suplimentar de putere reactivă capacitivă pe fundamentală.

Tocmai această interdependență îndreptățește necesitatea corelării rezolvării concomitente a celor două probleme [2].

Acest mod de rezolvare devine obligatoriu mai ales atunci cînd montarea ambelor categorii de instalații urmează să se facă la aceeași secție de bare.

Un aspect esențial al acestei rezolvări constă în folosirea unei instalații unice atît pentru compensarea puterii reactive, cît și pentru diminuarea regimului deformant.

Această instalație unică reprezintă un filtru de absorbție astfel dimensionat încît să poată răspunde rezolvării simultane a celor două probleme puse.

În acest scop, capacitatea electrică a filtrului se dimensionează avînd în vedere realizarea factorului de putere la nivelul celui neutral sau mai mare, iar caracteristicile bobinei, care se conectează în serie, se stabilesc luînd în considerare realizarea condiției de rezonanță pentru armonica ce urmează a fi reținută.

Astfel, în cazul în care pentru realizarea unui factor de putere îmbunătățit este nevoie de o baterie de condensatoare cu puterea Q la tensiunea nominală U_N, capacitatea C a bateriei conectată în stea sau triunghi este:

$$C_Y = \frac{Q}{U_N^2\omega}\,; \quad C_\Delta = \frac{1}{3}C_Y = \frac{Q}{3U_N^2\omega} \tag{7}$$

Considerînd montajul în triunghi al bateriei, valoarea inductanței L, pentru realizarea unui filtru de absorbție pe armonica de rangul k, este:

$$kL\omega - \frac{1}{kC\omega} = 0 \Rightarrow L = \frac{1}{k^2C\omega^2} = \frac{3U_N^2}{k^2\omega Q} \tag{8}$$

Pentru a evita comportarea capacitivă a filtrului pentru unele armonici prezente la bare, respectiv pentru cele de rang mai mic decît cea de rezonanță, amplificîndu-le, este recomandabil ca acesta să fie realizat pentru armonica de rangul cel mai mic, care, de regulă, are și cea mai mare pondere [2].

Pierderile de putere reactivă pe fundamentală în bobinele filtrelor nu pot impune renunțarea, acolo unde este posibil să se adopte o astfel de soluție [1].

Astfel, pentru cazul considerat mai sus, pierderile de putere reactivă pe fundamentală în bobină sînt:

$$Q_p = 3L\omega I_1^2 \tag{9}$$

Avînd în vedere că $Q = \frac{3I_1^2}{C\omega}$ și luînd în considerare condiția (8_1), relația (9) devine:

$$Q_p = \frac{Q}{k^2} \tag{10}$$

Rezultă deci că, aceste pierderi fiind invers proporționale cu pătratul rangului armonicii, se poate considera că puterea instalată pentru compensare Q este afectată într-o măsură foarte redusă de bobina prevăzută pentru realizarea filtrului. Și, într-adevăr, puterea reactivă debi-

tată de baterie pentru compensarea puterii reactive rămîne a fi :

$$Q' = Q - Q_p = Q\left(1 - \frac{1}{k^2}\right) \qquad (11)$$

Pentru armonica de rangul 5, de exemplu, $Q' = 0{,}96\ Q$, iar pentru cea de rangul 7, $Q' = 0{,}98\ Q$.

La alegerea bobinelor și condensatoarelor pentru circuitele de filtraj trebuie avute în vedere următoarele [1], [2], [3] :

a) Bobinele utilizate trebuie să aibă o inductivitate practic independentă de curent, astfel încît să poată suporta în bune condiții eventualii curenți de scurtcircuit.

Din această cauză, aceste bobine trebuie construite cu miez din aer, sau cu miez feromagnetic cu întrefier (mai ales atunci cînd sînt necesare reactanțe mari la curenți mici).

b) Deoarece condensatoarele din componența circuitelor de filtraj trebuie să acopere, cu puterea lor nominală, atît puterea reactivă corespunzătoare fundamentalei în măsura dorită, cît și necesarul de putere corespunzătoare armonicilor filtrate, soluția cea mai simplă ce trebuie luată în considerare este adoptarea unei tensiuni nominale mai ridicate decît tensiunea barelor stației de racord. O astfel de soluție este justificată și pentru faptul că datorită rezonanței (prin prezența inductivității bobinei) tensiunea la bornele bateriei crește.

Alegerea și dimensionarea filtrelor de armonici în ideea folosirii acestora și ca surse specializate de putere reactivă, sînt dependente, aproape în mod exclusiv, de dimensionarea bateriei de condensatoare [3].

Problema stabilirii capacității C a instalației de filtrare-compensare implică realizarea unor calcule care trebuie să aibă în vedere condiția :

$$Q_1 > Q_k, \qquad (12)$$

în care Q_1 reprezintă puterea reactivă pe fundamentală, iar Q_k — puterea reactivă pe armonica de rang k ce urmează a se filtra. Pentru a dovedi acest lucru avem în vedere că puterea reactivă de calcul a bateriei de condensatoare, din componența filtrului, pe o fază, este :

$$Q = Q_1 + Q_k = \lambda^2 U_1^2 \omega C + \frac{I_k^2}{k\omega C}, \qquad (13)$$

în care λ este coeficientul de creștere a tensiunii fundamentalei la bornele bateriei datorită prezenței inductanței L ; U_1 este tensiunea fundamentală ; ω — pulsația fundamentalei, iar k — rangul armonicii ce urmează a se filtra. Făcînd notațiile :

$$A = \lambda^2 U_1^2 \omega\ ;\ B = \frac{I_k^2}{k\omega},$$

relația (13) capătă forma :

$$Q = AC + \frac{B}{C} \qquad (14)$$

Creșterea puterii totale în funcție de capacitate este :

$$\frac{dQ}{dC} = \frac{dQ_1}{dC} + \frac{dQ_k}{dC} = A - \frac{B}{C^2}$$

Deci creșterea puterii fundamentale, raportată la creșterea puterii totale, este :

$$\frac{dQ_1}{dQ} = \frac{\frac{dQ_1}{dC}}{\frac{dQ}{dC}} = \frac{A}{A - \frac{B}{C^2}} = \frac{1}{1 - \frac{B}{AC^2}} = \frac{1}{1 - \frac{Q_k}{Q_1}}$$

Făcînd notația $\alpha = \frac{Q_1}{Q_k}$, se obține :

$$\frac{dQ_1}{dQ} = \frac{\alpha}{\alpha - 1} \qquad (15)$$

Reprezentînd grafic funcția $\frac{dQ_1}{dQ_2} = F(\alpha)$, așa cum este explicitată prin (15), se obține graficul din figura 3, pe care se poate observa, de exemplu, că dacă $\alpha = 1{,}5$, puterea fundamentalei crește cu 3 kVAr cînd se mărește puterea totală cu 1 kVAr, obținîndu-se deci această putere suplimentară cu numai o treime din costuri. Pornind de la observația că este mai avantajos ca $\alpha > 1$, se poate determina valoarea

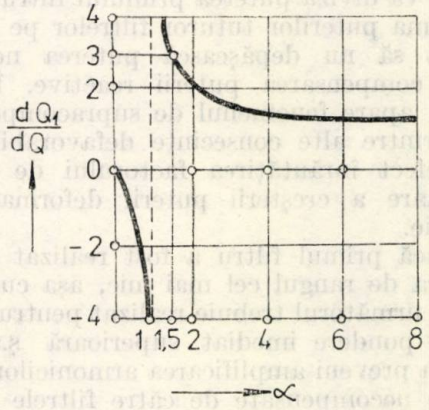


Fig. 3.

capacității corespunzătoare pentru absorbția armonicii de rang k plecînd de la (13) și definiția coeficientului α :

$$Q_1 = \alpha Q_k \Rightarrow \lambda^2 U_1^2 \omega C = \alpha \frac{I_k^2}{k\omega C},$$

din care rezultă imediat

$$C = \frac{I_k}{\lambda U_1 \omega} \sqrt{\frac{\alpha}{k}} \qquad (16)$$

Relaţia (16) se particularizează uşor pentru situaţia în care filtrul are rolul esenţial de absorbţie a armonicii de rang k şi cînd se urmăreşte optimizarea (minimizarea) mărimii puterii Q, pentru a se obţine un cost redus al filtrului.

Într-adevăr pentru $\alpha = 1$, se obţine:

$$C_{min} = \frac{I_k}{\lambda U_1 \omega} k^{-1/2} \qquad (17)$$

Este de remarcat că expresia (17) se poate obţine uşor şi din (13), prin determinarea minimului funcţiei $Q = F(C)$. Din această cauză, metoda de calcul expusă este denumită *metoda puterii minime a condensatoarelor filtrului.*

În baza relaţiilor (13) şi (14), precum şi a considerentelor făcute, în literatura de specialitate sînt date diagrame [12] care permit determinarea puterii bateriei de condensatoare în funcţie de tensiunea de linie a fundamentalei şi a curentului armonicii de rang k.

Filtrul astfel ales se verifică la rezonanţă în sistemul de alimentare a circuitelor de filtraj [3].

Consideraţiile făcute se referă, evident, la cazul filtrelor acordate pe o singură armonică. În practică se întîlnesc însă situaţii în care cu un singur filtru nu se poate reduce coeficientul de distorsiune la valorile admisibile prevăzute în [4]. În astfel de situaţii este necesar să se monteze filtre suplimentare, respectînd următoarele principii:

— Dacă puterea pe fundamentală a filtrului unic corespunde cu puterea bateriei necesară realizării unui factor de putere îmbunătăţit de o anumită valoare, în cazul realizării şi altor filtre se va diviza puterea primului filtru, astfel încît suma puterilor tuturor filtrelor pe fundamentală să nu depăşească puterea necesară pentru compensarea puterii reactive. În caz contrar, apare fenomenul de supracompensare, care, printre alte consecinţe defavorabile, are drept efect înrăutăţirea factorului de putere ca urmare a creşterii puterii deformante în instalaţie.

— Dacă primul filtru a fost realizat pentru armonica de rangul cel mai mic, aşa cum este indicat, următorul trebuie realizat pentru armonica cu pondere imediat superioară ş.a.m.d., pentru a preveni amplificarea armonicilor intermediare necompensate de către filtrele pentru armonici de rang mai mare.

Divizarea puterii totale pe filtre trebuie făcută pe baza unor niveluri de armonici $\left(\gamma_k = 100 \frac{I_k}{I_1}\right)$ cît mai apropiate de realitate, ca şi pe baza cunoaşterii cît mai exacte a tuturor caracteristicilor elementelor schemei.

Este de menţionat că şi în cazurile în care problema regimului deformant şi cea a îmbunătăţirii factorului de putere apar la secţii sau sisteme diferite de bare, de aceeaşi tensiune nominală sau de tensiuni nominale diferite, rezolvarea corelată a acestor probleme este de asemenea necesară. Şi în aceste cazuri se pot examina soluţii cu una sau mai multe baterii-filtre pentru o singură armonică sau mai multe, luînd în considerare comportarea acestora aşa cum s-a prezentat anterior.

Calculul tehnico-economic de dimensionare a filtrelor acordate pe mai multe armonici [6], [8], [13] are în vedere preţul bateriei de condensatoare în funcţie de puterea reactivă totală generală (*metoda investiţiilor minime*).

Se precizează că este mai indicat ca preţul bateriei de condensatoare să se ia funcţie de puterea aparentă, deoarece atît tensiunea cît şi curentul eficace sînt elemente de care trebuie ţinut seama la proiectare.

Trebuie, de asemenea, luat în considerare faptul că pînă în prezent în ţara noastră criteriul economic al cheltuielilor totale anuale actualizate încă nu a fost promovat în calculul instalaţiilor de filtrare-compensare.

Aceasta este o problemă dificilă, dar care îşi aşteaptă rezolvarea. Dificultatea rezolvării acestei probleme constă în aceea [11] că, deocamdată, încă nu se cunosc în totalitate efectele distorsiunilor armonice asupra ansamblului utilizărilor dintr-un sistem electroenergetic sub toate aspectele tehnice şi economice.

În afară de aceasta, ca urmare a caracterului aleatoriu al regimului deformant, limitele maxime admise ale acestuia implică respectarea lor într-un plan statistic.

Metoda investiţiilor minime privind proiectarea filtrelor, adoptată de majoritatea autorilor, are în vedere, pe de o parte, obţinerea unui coeficient de distorsiune armonică situat în limite admisibile, potrivit [4], iar pe de altă parte nedepăşirea supraîncărcărilor maxime admise faţă de valorile nominale în regim sinusoidal a condensatoarelor, potrivit prevederilor STAS 7083-71. Fără îndoială că c le două criterii sînt necesare, dar sînt insuficiente, ceea ce, evident, impune adoptarea criteriului de calcul tehnico-economic unanim admis în ţara noastră, acela al cheltuielilor totale anuale actualizate minime, fie şi numai în baza daunelor produse de regimul deformant, suficient de bine cunoscute la ora actuală. Aceasta cu atît mai mult cu cît, pentru compensarea puterii reactive, aplicarea acestui criteriu este pe deplin clarificată [15], [16].

În sfîrşit, trebuie reţinut că aspectele prezentate în legătură cu dimensionarea filtrelor de absorbţie, ca surse specializate de putere reactivă, au caracter de calcul preliminar, deoarece stabilirea definitivă a caracteristicilor instalaţiilor de filtrare-compensare se face numai după efectuarea măsurătorilor în condiţii reale de exploatare [4].

Sub acest aspect, este de menţionat [9] că, în cazul montării unor filtre de armonici pentru

un anumit consumator deformant (sau grup de consumatori) din sistem, dimensionarea acestor filtre trebuie făcută luîndu-se în considerare atît armonicile superioare produse de instalaţia propriu-zisă la care se montează filtrele, cît şi armonicile superioare de curent generate de alte instalaţii din sistemul electroenergetic considerat. Verificarea la rezonanţă a circuitelor de filtraj trebuie să aibă în vedere armonicile din sistem în nodul în care se montează filtrele, ştiut fiind că, în anumite condiţii critice de amplificare sau de rezonanţă netă, acestea pot lua valori periculoase, ce pot conduce la distrugerea filtrelor.

Studiile efectuate pe platforma industrială a municipiului Suceava [5], [10], într-o staţie de 110/6 kV, 2 × 40 MVA, care alimentează pe un sistem de bare dublu secţionat longitudinal la 6 kV atît consumatori deformanţi (cuptoare electrice cu arc), cît şi nedeformanţi, scoate în evidenţă faptul că soluţia de baterie-filtru rezolvă economic atît reducerea efectului deformant (se obţine coeficientul de distorsiune la 6 kV, $\delta_u = 0{,}955\,\%$) cît şi îmbunătăţirea factorului de putere la valoarea $\cos\varphi = 0{,}9$, pornind de la existenţa unui spectru de armonici în care sînt preponderente rangurile 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11 şi 13 ($\delta_u = 4{,}1\,\%$) şi un factor de putere natural $\cos\varphi_n = 0{,}6$. Este de precizat că examinarea corelată a compensării puterii reactive şi a atenuării regimului deformant pe platforma industrială a municipiului Suceava confirmă faptul că soluţia cu instalaţie de filtrare-compensare este mai eficientă decît soluţia în care fiecare dintre cele două probleme s-ar rezolva separat (filtre de armonici şi, respectiv, baterie de condensatoare).

Concluzii

În cazul existenţei regimului deformant, instalarea bateriilor de condensatoare, fie la aceleaşi bare la care sînt conectaţi consumatori deformanţi, fie la alte trepte de tensiune, inferioare, obţinute prin transformare, are drept urmare amplificarea armonicilor.

Pentru rezolvarea concomitentă atît a problemei compensării puterii reactive, cît şi a atenuării regimului deformant, este necesar ca bateria de condensatoare destinată îmbunătăţirii factorului de putere să fie montată împreună cu bobina de reactanţă, în scopul realizării unui filtru de absorbţie pentru armonica superioară de rangul cel mai mic şi ponderea mai mare.

În acest fel, odată cu îmbunătăţirea factorului de putere la valoarea necesară, se reţine integral armonica locală pentru care s-a realizat rezonanţa, plus un aport din sistem, şi, parţial, se reţin celelalte armonici de curent, locale, de rang mai mare.

În principiu, nu este indicată adoptarea filtrelor pentru mai multe armonici, soluţia optimă trebuind să rezulte din măsurători şi calcule.

Volumul de armonici din sistem într-un anumit nod poate fi substanţial redus, dacă se iau măsuri de atenuare a regimului deformant în toate nodurile vecine în care armonicile apar cu valori importante.

Aceasta presupune însă cunoaşterea situaţiei din fiecare nod al sistemului, luarea tuturor măsurilor pentru prevenirea şi limitarea regimului deformant şi urmărirea periodică a evoluţiei situaţiei, în care pot surveni schimbări, ca urmare a proliferării în sistem a receptoarelor pronunţat neliniare — generatoare de regim deformant —, în scopul completării eventualelor măsuri adoptate anterior.

Bibliografie

[1] Iordănescu, I. şi Iacobescu, Gh. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor.* Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1979, p. 240—251.

[2] Iordănescu, I. *Compensarea factorului de putere şi atenuarea regimului deformant, acţiuni interdependente în sistemele energetice moderne.* În : Energetica, 28, nr. 8, 1980, p. 327—331.

[3] Puşcaşu, S. şi Marcovici, J. *Mărimi şi regimuri electrice nesinusoidale.* Editura „Scrisul românesc", Craiova, 1974, p. 140—152.

[4] * * * M.E.E. *Normativ privind limitarea regimului deformant.* PE 143/80, ICEMENERG, 1980.

[5] Bărbulescu, D. ş.a. *Studiul regimului deformant al instalaţiilor electrice şi proiectul tehnic al filtrelor de absorbţie ale armonicilor la IUPS şi CCH Suceava.* Contract IP Iaşi — IRE Suceava, nr. 25948/1976.

[6] Arie, E., Nicolae, P. şi Cristea, H. *Principii de alegere a parametrilor instalaţiilor de filtrare a armonicilor.* În : Studii şi cercetări de energetică, Seria A, vol. 13, Ed. Acad. R.P.R., Bucureşti, 1963.

[7] Bălă, C., Pomîrleanu, M. şi Bîrgăuanu, M. *Efectele armonicilor şi mijloace pentru diminuarea lor.* În : Studii şi cercetări de energetică, seria A, vol. 13, Ed. Acad. R.P.R., Bucureşti, 1963.

[8] Ionescu, Al. *Combaterea efectului deformant al redresoarelor şi cuptoarelor electrice cu arc în reţelele de distribuţie.* ICDT, Bucureşti, 1969.

[9] Dinculescu, C., Arie, A. şi Selischi, Al. *Studiul transferului fenomenului deformant într-o reţea complexă.* În : Bul. IPB, 34, nr. 4, 1972.

[10] Sfichi, R. *Aspecte privind problema factorului de putere în reţelele electrice ce funcţionează în regim deformant, cu referire la zona industrială a municipiului Suceava.* În : Energetica, 27, nr. 10, 1979.

[11] Sfichi, R. *Consideraţii cu privire la indicatorii regimului deformant în reţelele sistemului electroenergetic.* În : Energetica, 28, nr. 4/1980.

[12] Garabet, T., Bivol, L. şi Neagu, G. *Utilizarea redresoarelor comandate în acţionări electrice.* Editura tehnică, Bucureşti, 1969.

[13] Comşa, D. şi col. *Proiectarea instalaţiilor electrice industriale.* Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1979, p. 414—424.

[14] Comşa, D. *Utilizări ale energiei electrice.* Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1973, p. 65—70.

[15] * * * M.E.E. *Instrucţiuni privind compensarea puterii reactive la consumatorii industriali şi similari* — PE 931/75, ICEMENERG, Bucureşti, 1975.

[16] * * * M.E.E. *Instrucţiuni privind compensarea puterii reactive în reţelele de distribuţie exploatate de IRE.* PE 120/75, ICEMENERG, Bucureşti, 1975.

Asupra concluziilor bilanțului electroenergetic în sectorul minier al județului Suceava

Ing. **R. Sfichi** Ing. **Ol. Reziuc**
Ing. **Ov. Ianoș**
Ing. **Ov. Lungu** Ing. **S. Blumenfeld**
— IRE Suceava —
Ing. **A. Sabin**
— C.M. Gura Humorului —

Bilanțul energetic, după cum se știe, constituie o metodă de mare eficiență pentru identificarea tuturor posibilităților de raționalizare și economisire a energiei sub toate formele. Pornind de la imperativul elaborării sistemice și interdisciplinare a bilanțurilor energetice, IRE Suceava a elaborat în ultimul an cîteva bilanțuri electroenergetice pentru marii consumatori industriali cu cea mai mare pondere în economia județului Suceava. Unul din acești consumatori este și Combinatul minier (C.M.) Suceava din Gura Humorului.

A reduce cu 5,3% consumul de energie electrică în industria minieră a județului Suceava înseamnă a reduce cu 1% consumul întregului județ, întrucît Combinatul minier Suceava este cel mai mare consumator de energie electrică din zonă.

Analiza structurii consumului de energie la C.M. Suceava de circa 150GWh echivalenți (fig. 1)

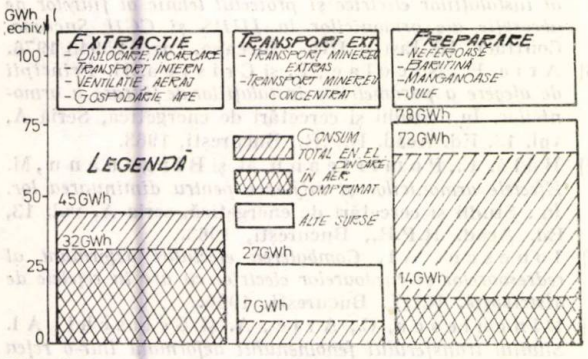


Fig. 1. Structura consumului energetic al C.M. Suceava în anul 1979.

arată că o importantă cotă se consumă în subteran și în cariere pentru extracția minereurilor utile (30%), ponderea deținînd-o sectorul de preparare a minereurilor (52%). Bilanțul energetic al C.M. Suceava a avut ca scop să pună în evidență căile de reducere considerabilă a consumului de energie în aceste două sectoare, prin perfecționarea și modernizarea instalațiilor tehnologice principale

1. Bilanțul energetic în sectorul extracției minereurilor

Tehnologia de extracție se beazeză aproape în totalitate pe acționările pneumatice, folosindu-se perforatoare, mașini de încărcat, ventilatoare, ciocane de abataj, împingătoare de vagoneți și alte utilaje acționate cu aer comprimat.

Aerul comprimat este o verigă intermediară în lanțul energetic, plecînd de la energia electrică absorbită la energia mecanică dezvoltată de utilaje. Față de acționarea electrică a utilajelor, acționarea pneumatică conduce la un consum de energie electrică de șapte ori mai mare [1], deoarece însăși producerea aerului comprimat se realizează cu un randament foarte redus, în jur de 25%, care scade în practică uneori pînă la 10% din cauza pierderilor de aer în rețeaua de distribuție (conform măsurătorilor efectuate de autori).

În tabelul 1 se prezintă comparativ eficiența utilajelor acționate direct electric, calculată după datele din literatură.

Se impune electrificarea minelor pînă la toate fronturile de lucru, în vederea înlocuirii, într-o primă etapă (1980—1982), a ventilatoarelor pneumatice cu ventilatoare electrice.

Numai prin această măsură se poate reduce consumul de energie electrică la C.M. Suceava cu 4,4 GWh anual, ceea ce reprezintă 3,5% din consumul său.

În figura 2 se prezintă o comparație între bilanțul real și bilanțul normat la încheierea acțiunilor prevăzute pentru etapa I, din care apare că în timp ce volumul de energie electrică

Tabelul 1

Utilaje acționate penumatic			Utilaje acționate electric			Reducerea consumului de energie electrică
denumire	tip	productivitate medie	denumire	tip	productivitate medie	
Ventilator pneumatic	VP—300	$\frac{300\ m^3}{1\ kWh}$	Ventilator electric	VE—400	$\frac{1000...2000\ m^3}{1\ kWh}$	de 3...6 ori
Troliu pneumatic	TPU—300	$\frac{43\ t \cdot m}{1\ kWh}$	Troliu electric	IT—1300	$\frac{210\ t \cdot m}{1\ kWh}$	de 5 ori
Mașină de încărcat pneumatică	MIS	$\frac{0,7...0,9\ m^3}{1\ kWh}$	Mașină de încărcat electrică	EPM—1	$\frac{3,2...3,5}{1\ kWh}$	de 4...5 ori

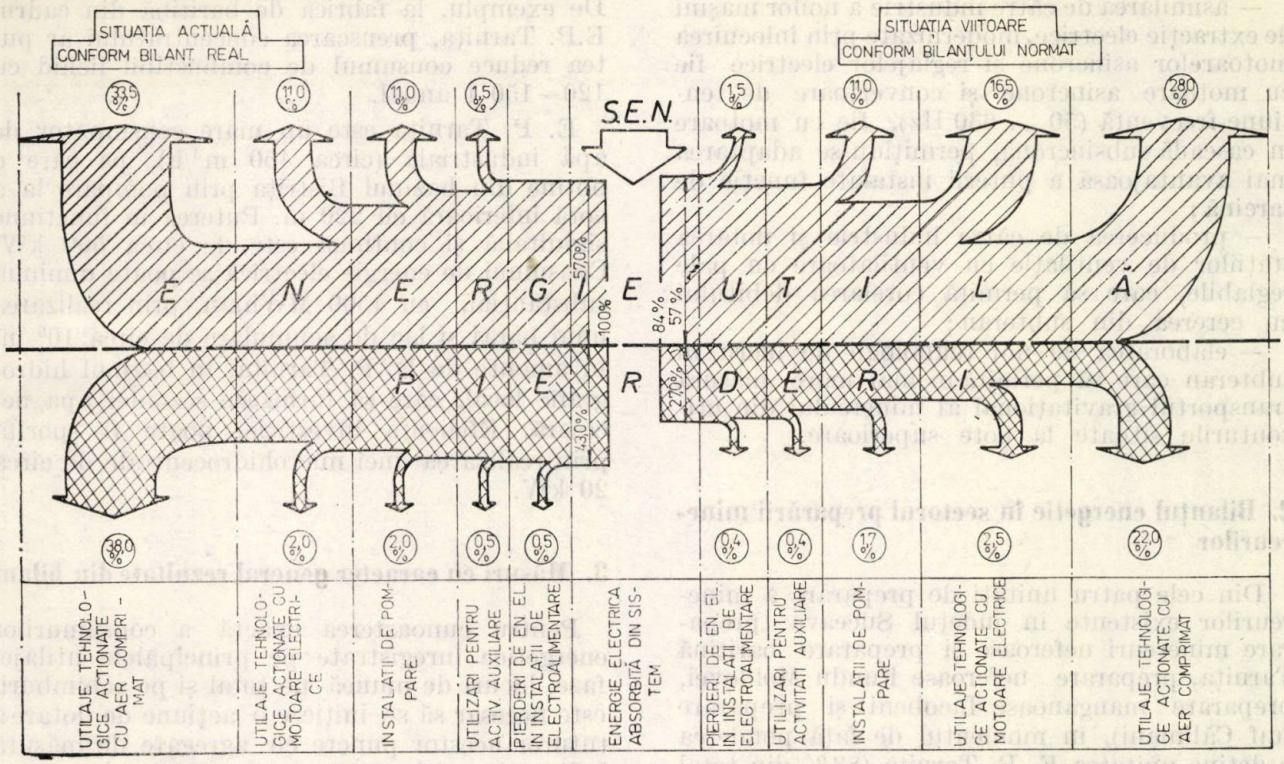


Fig. 2. Comparație între bilanțul real și bilanțul normat (în prima etapă) la E.M. Leșu Ursului.

utilă se menține, pierderile de energie electrică scad spectaculos.

Prin înlocuirea în perioada 1981—1984 a tuturor utilajelor acționate pneumatic cu utilaje similare acționate electric, consumul C.M. Suceava se potate reduce cu 5,4 GWh anual (4,4 %).

Industria este pregătită pentru acțiunea de electrificare a minelor, fiind necesară doar corelarea efeorturilor în acest sens.

Cercetarea din industria extracției metalelor neferoase trebuie să se reorienteze către eliminarea totală a folosirii aerului comprimat în abataje, aceasta impunînd trecerea pe acționarea electrică a tuturor categoriilor de utilaje acționate pneumatic: ciocane și perforatoare pneumatice cît mai ușoare, împingătoare de vagoneți de mare productivitate.

În tabelul 2 se prezintă structura actuală și viitoare a balanței energetice a exploatării miniere Leșu Ursului în ipoteza eliminării totale a acționărilor cu aer comprimat și a luării tuturor măsurilor preconizate pentru reducerea pierderilor de energie electrică.

Pînă la eliminarea totală a aerului comprimat ca agent energetic în abataje, este necesară gospodărirea lui cît mai judicioasă prin:

— urmărirea funcționării agregatelor din cadrul stațiilor de aer comprimat potrivit ciclogramelor permanent reactualizate;

— ridicarea nivelului tehnic al instalațiilor de transport și distribuție a aerului comprimat prin redimensionări, izolări termice, acționări cu vane sau electroventile [4];

— reducerea pierderilor de aer comprimat prin folosirea unor furtunuri flexibile de calitate superioară celor care se utilizează în prezent la racordarea receptoarelor mobile din abataje [5];

— realizarea de depozite betonate pentru stocarea aerului comprimat în galerii părăsite, în vederea scoaterii din funcțiune a stațiilor de compresoare pe timpul vîrfurilor de sarcină în SEN [5].

Tabelul 2

	Situația actuală	%	Situația viitoare	%
— Energie electrică primită din sistem, MWh/an din care:	33000	100	18200	55
— Energie electrică utilă, MWh/an	18800	57	11500	35
— Suma pierderilor de energie electrică (în motoare, rețele și trafo), MWh/an	14200	43	6700	20

Reducerea consumului de energie electrică în sectorul extracției minereurilor se poate realiza în viitor și pe următoarele căi [5]:

— înlocuirea iluminatului incandescent cu iluminat fluorescent, folosind în acest scop corpuri FIPAT — ELBA, cu un consum redus cu peste 50 % în condiții de iluminat identic;

— asimilarea de către industrie a noilor maşini de extracţie electrice, modernizate prin înlocuirea motoarelor asincrone şi reglajelor electrice fie cu motoare asincrone şi convertoare de tensiune-frecvenţă (50... 630 Hz), fie cu motoare în cascadă subsincronă, permiţîdu-se adaptarea mai avantajoasă a puterii instalate funcţie de sarcină;

— producerea de către industrie şi dotarea staţiilor de ventilaţie cu ventilatoare cu pale reglabile, care să permită corelarea debitului cu cererea din subteran;

— elaborarea de noi tehnologii de lucru în subteran care să permită în mai mare măsură transportul gravitaţional al minereului din orizonturile situate la cote superioare.

2. Bilanţul energetic în sectorul preparării minereurilor

Din cele patru unităţi de preparare a minereurilor existente în judeţul Suceava (preparare minereuri neferoase şi preparare baritină Tarniţa, preparare neferoase Fundu Moldovei, preparare manganoase Iacobeni şi preparare suif Călimani), în momentul de faţă ponderea o deţine unitatea E. P. Tarniţa (83% din total consum absorbit de unităţile de preparare). Din acest motiv, principalele măsuri reieşite din bilanţ se referă la această unitate.

Pentru asigurarea funcţionării în condiţii de dozaje optime şi cu minimum de energie la faza de măcinare a minereurilor neferoase, operaţie deţinînd o pondere de circa 20—25% în balanţa energiei, se propune automatizarea complexă a celor şapte mori, prin generalizarea invenţiei aplicate cu succes la E. P. Săsar. Se prelimină o economie anuală de 350 MWh pe fiecare moară automatizată. Economiile se pot amplifica la aceeaşi fază tehnologică prin trecerea la măcinarea autogenă, ceeea ce va determina o diminuare a consumului cu încă cel puţin 100 MWh pe an şi moară.

La faza de desecare a concentratului de minereu rezultat din flotare, consumul de energie electrică poate fi redus cu circa 450 MWh/an prin automatizarea întregului ansamblu tehnologic şi evitarea prin aceasta a transformării pompelor de vid mai uzate în sarcină parazitară pentru celelalte. În prealabil însă, este necesară raţionalizarea şi simplificarea instalaţiei de producere a vidului, prin înlocuirea celor 28 unităţi de 55—110—130 kW funcţionînd la 0,4 kV cu 8 unităţi de 250 kW — 6kV fiecare, ceea ce va readuce în fluxul energiei utile alţi 300 MWh/an.

Recuperarea căldurii reziduale din gazele de ardere de la cuptoarele de calcinare a minereurilor (modernizate sau nu) este încă un deziderat în instalaţiile C.M. Suceava. Este posibilă peste tot preuscarea minereurilor înainte de calcinare, efectuîndu-se amenajările necesare. De exemplu, la fabrica de baritină din cadrul E.P. Tarniţa, preuscarea concentratului ar putea reduce consumul de combustibil lichid cu 120—150 t anual.

E. P. Tarniţa este un mare consumator de apă industrială (circa 450 m^3/h), pe care o obţine din bazinul Bistriţa prin pompare la o cotă inferioară cu 220 m. Puterea în funcţiune simultană şi continuă este de circa 500 kW. Consumul de energie electrică se poate diminua substanţial, cu 4500 MWh/an, prin realizarea unui baraj şi lac de acumulare de circa 10^6 m^3 în amonte de E. P. Tarniţa, în bazinul hidrografic local, care să furnizeze sezonier apa necesară. Eficienţa investiţiei poate fi sporită prin realizarea unei microhidrocentrale de circa 20 kW.

3. Măsuri cu caracter general rezultate din bilanţ

Pentru cunoaşterea exactă a consumurilor energetice înregistrate pe principalele utilaje, faze, locuri de muncă pe total şi pe schimburi, este necesar să se iniţieze o acţiune de dotare a tuturor acestor puncte cu agregate de măsură indicatoare şi înregistratoare. Numai pe această bază se va putea perfecţiona procesul informaţional-decizional de la nivelul conducerii tehnice a proceselor de producţie din minerit şi se va putea acţiona eficient în sensul raţionalizării permanente a consumului energetic.

În sectorul cu consum preponderent E. M. Leşu Ursului — E. P. Tarniţa se poate organiza un serviciu permanent de dispecer tehnologic-energetic, care să asigure conducerea eficientă a întregului proces tehnologic, cu efecte din cele mai favorabile asupra consumului total de energie electrică al C. M. Suceava.

Instalaţiile de electroalimentare ale unităţilor miniere, mai ales a celor de extracţie, s-au dezvoltat din aproape în aproape, fiind proiectate şi construite în majoritata lor într-o perioadă de timp în care pierderile de energie electrică nu constituiau un criteriu important. În noile condiţii se impune sistematizarea traseelor, modernizarea acestor reţele prin trecerea la tensiuni superioare de funcţionare, optimizarea secţiunilor conductoarelor şi reorganizarea instalaţiilor de electroalimentare din subteran, coordonat cu acţiunea de electrificare integrală a minelor.

Desigur, în urma întocmirii bilanţului energetic la C.M. Suceava, au fost evidenţiate un număr mult mai mare de măsuri tehnico-organizatorice pentru diminuarea consumurilor tehnologice de energie şi reducerea pierderilor, măsuri eficiente şi uşor realizabile pe plan local. Aceste măsuri sînt cunoscute, fiind în general comune tuturor sectoarelor economice, şi nu este util să fie reluate.

Concluzii

În sectorul extracției minereurilor neferoase și nemetalifere, principala cale pentru reducerea substanțială a consumului de energie electrică o constituie electrificarea totală a minelor și renunțarea la acționările pneumatice.

În sectorul preparării minereurilor neferoase, automatizarea morilor cu bile, trecerea la măcinarea autogenă și recuperarea căldurii reziduale a cuptoarelor de calcinare folosindu-se la preuscarea concentratelor, reprezintă principalele căi pentru reducerea consumurilor specifice de energie electrică din acest sector.

Principala sursă de economie de energie în industria minereurilor neferoase și nemetalifere o constituie modernizarea tehnologiilor de bază folosite.

Bibliografie

[1] Bacu, A. și Bacu, Al. A. *Îndreptar pentru utilizarea aerului comprimat în minerit.* Editura tehnică, București, 1972.

[2] * * * *Manualul inginerului electrician*, vol. VIII. Editura tehnică, București, 1959.

[3] Scriban, E. *Utilajul și tehnologia instalațiilor electrice miniere.* Editura didactică și pedagogică, București, 1978.

[4] Revista „Mine, petrol gaze, col. 1978—1980.

[5] Materiale științifice puse la dispoziție în manuscris de către ICMMN — Baia Mare și Institutul de mine Petroșani.

Studiu și încercări asupra rotorului eolian cu ax orizontal și pale plane

Conf. dr. ing. **E. N. Diaconescu** Șef lucr. ing. **A. G. Graur**
Șef lucr. ing. **V. G. Croitoru** Șef. lucr. ing. **L. G. Mandici**
— Institutul de învățămînt superior Suceava —

Ing. **R. Sfichi**
— IRE Suceava —

Penuria de energie la scară mondială obligă la găsirea unor soluții simple de conversie a diverselor forme de energie naturală, printre care și energia eoliană. În acest sens, printre preocupările catedrei se numără și cea referitoare la stabilirea unui tip de rotor eolian cît mai simplu de realizat, dar care să prezinte randament corespunzător.

Dintre tipurile de rotoare studiate, cel cu ax orizontal și pale plane întrunește condițiile cerute.

Cadrul teoretic

Fie o secțiune circulară desfășurată (fig. 1), în care

$\bar{C}_1$ și $\bar{C}_2$ — vitezele absolute la intrare și ieșire;
$\bar{U}$ — viteza periferică a rotorului;
$\bar{W}_1$ și $\bar{W}_2$ — vitezele relative ale aerului la intrare și ieșire în raport cu pala;
β — unghiul dintre $\bar{U}$ și planul palei;
α — unghiul dintre $\bar{U}$ și $\bar{W}_1$.

Pentru ca rotorul să funcționeze, este necesar ca $\alpha \geqslant \beta$, adică aerul să poată lovi pala.

Neglijînd fenomenele termodinamice, cît și disiparea radială a coloanei de aer ca urmare a trecerii prin rotor, ecuația de continuitate conduce la:

$$W_2 = W_1 \cos(\alpha - \beta) \qquad (1)$$

Suprapunînd triunghiurile vitezelor de la intrare și ieșire (fig. 2), relația (1) implică $\bar{W}_2 \perp \Delta\bar{C}$ și deci:

$$\Delta C_u = \Delta C \sin\beta = W_1 \sin\beta \sin(\alpha - \beta) \qquad (2)$$

Această componență a variației vitezei absolute a aerului dă un impuls pe direcția lui $\bar{U}$, care reprezintă tocmai impulsul forței tangențiale:

$$F_t = M \cdot \Delta C_u = M W_1 \sin\beta \sin(\alpha - \beta),$$

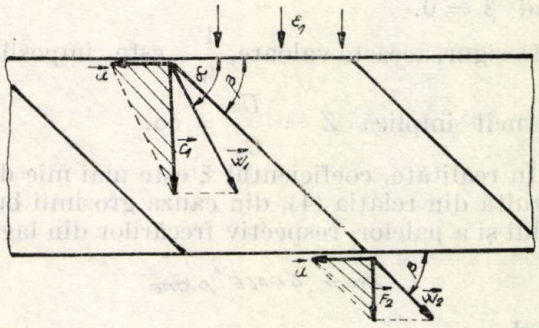


Fig. 1. Secțiunea circulară desfășurată.

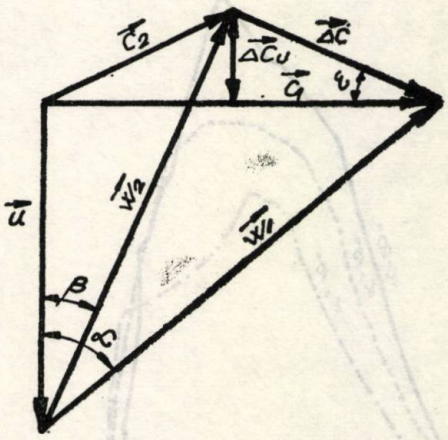


Fig. 2. Suprapunerea triunghiurilor vitezelor.

unde $M = \rho S C_1$ reprezintă debitul masic al vîntului prin rotor.

Forța tangențială se aplică în baricentrul forțelor pe pală, unde viteza tangențială este

(aproximativ) $U_c = \frac{2}{3} U$, astfel că puterea teoretică dezvoltată are expresia:

$$P = \frac{2}{3} U \cdot F_t = \frac{2}{3} MuW_1 \sin\beta \sin(\alpha - \beta) \quad (3)$$

Cum

$$W_1 = \frac{C_1}{\sin \alpha} \text{ și } \operatorname{ctg}\alpha = \frac{U}{C_1} = Z, \text{ relația (3) devine:}$$

$$P = \frac{2}{3} M \cdot C_1^2 Z \sin \beta (\cos \beta - Z \sin\beta) \quad (3')$$

Puterea vîntului fiind $P_v = \frac{MC_1^2}{2}$, se obține pentru coeficientul teoretic de utilizare a vîntului expresia:

$$\xi_t = \frac{P}{P_v} = \frac{4}{3} Z \sin \beta(\cos \beta - Z \sin \beta) \quad (4)$$

Relația (4) atestă dependența parabolică a lui ξ_t și a puterii P de Z și deci, implicit, de turația rotorului (ω), (fig. 3).

Maximul lui ξ_t corespunde valorii $\xi_{t-max} = \frac{\cos^2 \beta}{3}$, iar maximum maximorum este $\frac{1}{3}$ cînd $\beta = 0$.

Desigur, această valoare, $\frac{1}{3}$, este imposibilă, întrucît implică $Z = \frac{U}{C_1} = \infty$.

În realitate, coeficientul ξ este mai mic decît rezultă din relația (4), din cauza grosimii butucului și a palelor, respectiv frecărilor din lagăre.

Turația la mers în gol corespunde lui $\xi_t = 0$, adică pentru $Z_1 = 0$ (rotor oprit) și $Z_2 = \operatorname{ctg}\beta$, adică atunci cînd intră deja tangent la pală și nu-și mai schimbă direcția față de pală pentru a produce impuls (turația maximă a rotorului).

Din analiza acestor rezultate teoretice mai rezultă că pentru $\beta < \alpha$ nu are importanță unghiul de intrare a palei, ci numai cel de ieșire.

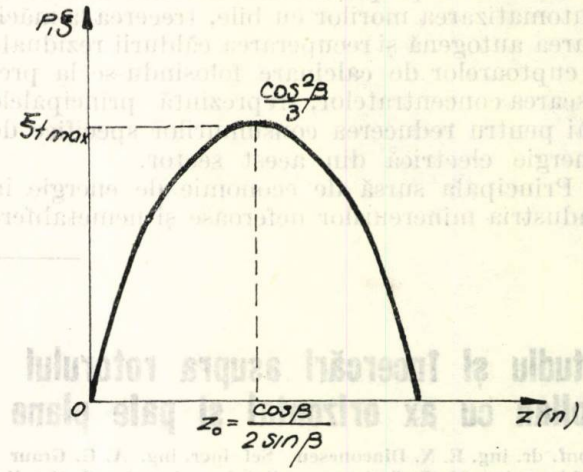


Fig. 3. Dependența lui ε și P de Z.

Din acest motiv, palele curbe nu prezintă avantaj față de cele plane atunci cînd ambele tipuri au același unghi de ieșire β. S-ar justifica utilizarea palelor cu profil curb numai cînd s-ar impune ca la ieșire β să fie nul, dar și în acest caz valoarea lui ξ_t nu poate depăși maximum maximorum $\frac{1}{3}$ (33 %).

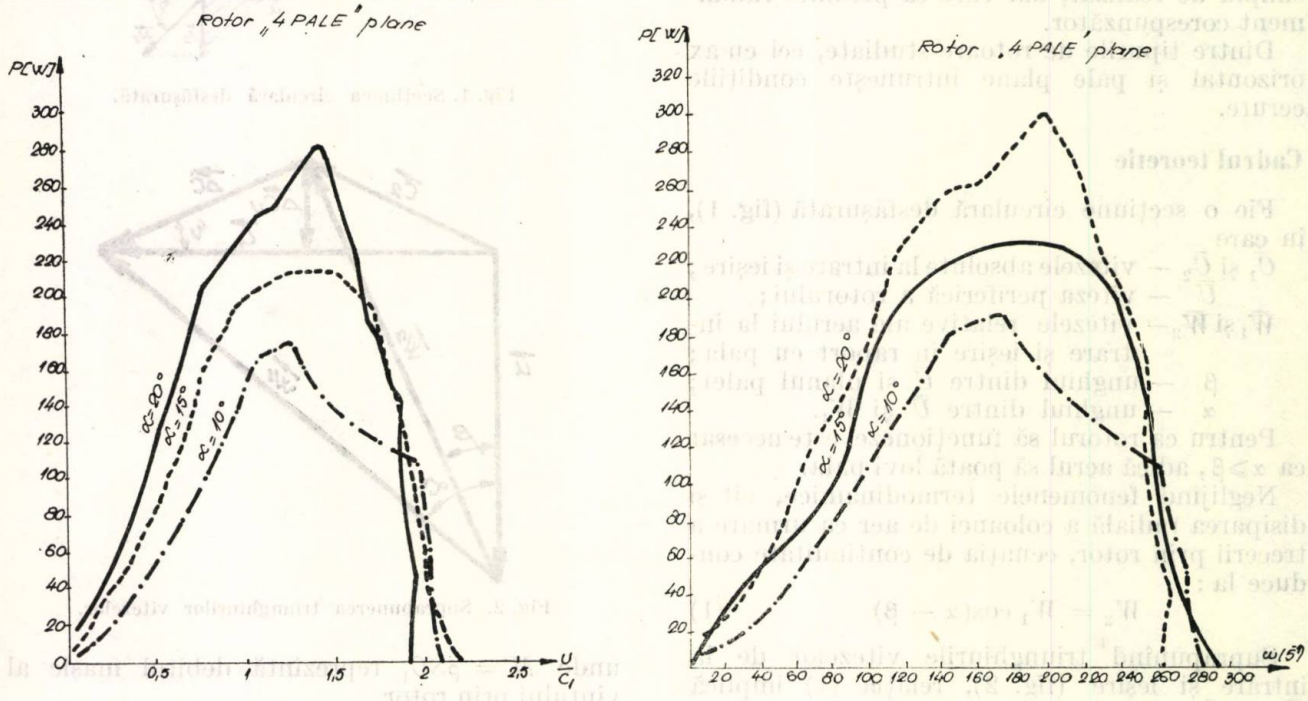


Fig. 4. Familii de curbe $P\left(\frac{U}{C}, \beta\right)$.

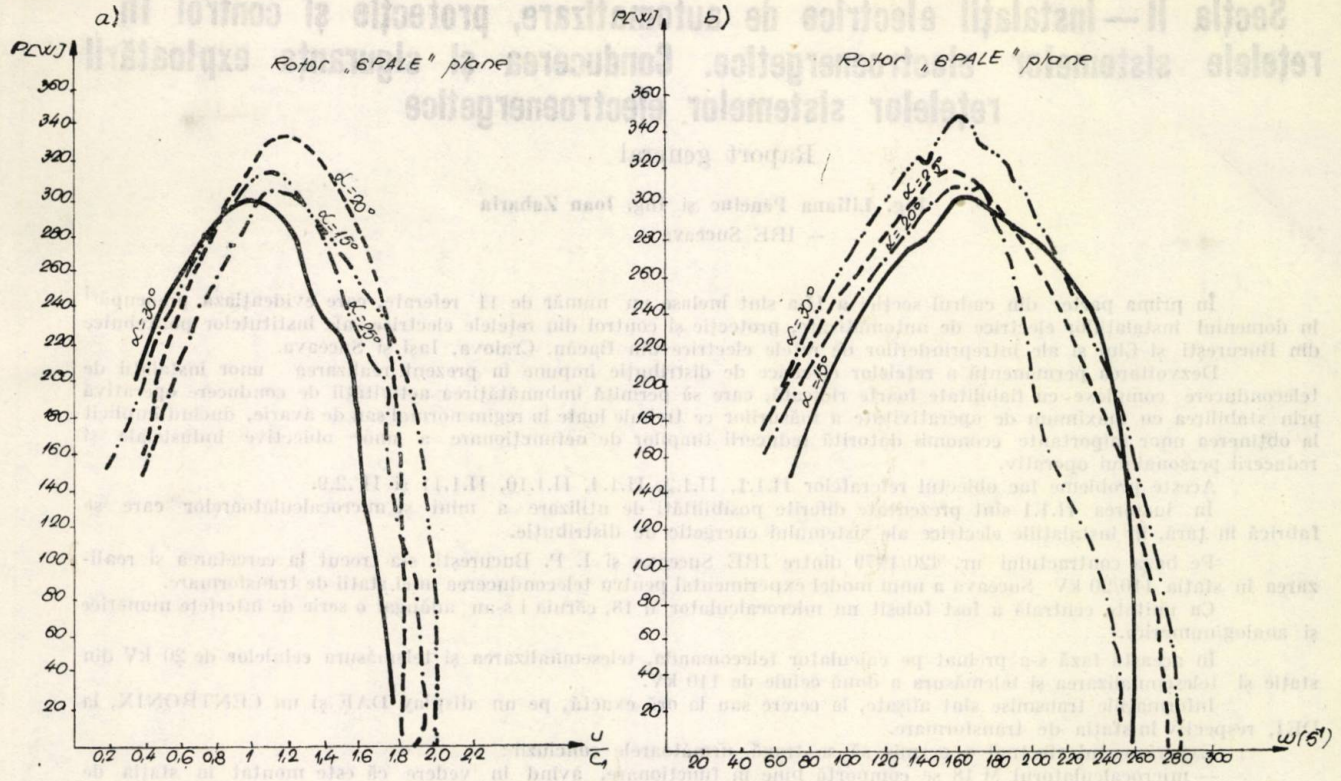


Fig. 5. Familii de curbe.

Faptul că rotoarele cu pale plane, mai simple, sînt tehnologice și deci mult mai puțin costisitoare, justifică utilizarea lor în valorificarea potențialului eolian.

Metodologia de încercare și rezultatele experimentale

Au fost testate două rotoare cu 4, respectiv 6 pale plane, cu următorii parametri :

— diametrul butucului 70 mm
— diametrul exterior 380 mm
— dimensiunile palei 150 × 91 mm

Testarea acestor rotoare s-a făcut utilizînd un tunel aerodinamic ce asigură o viteză a vîntului de 26 m/s. Rotoarele au fost montate pe un stand de încercare alcătuit din : cadru de fixare, frînă electromagnetică, traductor de turație și traductor al momentului de torsiune.

În timpul încercărilor s-au determinat cuplul la axul rotorului și turația corespunzătoare la o viteză constantă a aerului (26 m/s).

Determinările s-au repetat pentru $\beta \in (10°, 15°, 20°, 25°)$.

Datele obținute din măsurători au permis trasarea familiilor de curbe

$$P\left(\frac{U}{C}, \beta\right) \text{ și } P(\omega, \beta),$$

unde ω este turația rotorului (fig. 4 și 5).

Din analiza acestor grafice se observă că la aceeași turație $\left(\text{același } \frac{U}{C_1}\right)$ puterea mai mare revine rotorului cu 6 pale, iar la același rotor pentru $\beta = 20°$.

Valoarea coeficientului de utilizare ξ_{real} rezultă $\simeq 28\,\%$, foarte apropiată de valoarea celui teoretic (30 %). Diferența se justifică prin existența grosimii butucului, neplaneității palei, cît și frecărilor.

Concluzii

Din lucrare rezultă că rotoarele cu ax orizontal și pale plane au performanțe bune, chiar foarte bune, dacă avem în vedere :

— coeficientul de utilizare a vîntului ridicat, superior multor altor tipuri de rotoare existente ;
— construcția simplă și deci costuri scăzute ;
— rezistența mecanică mare la rafale (șocuri de vînt) ;
— posibilitate simplă de autoreglare a unghiului de atac al palelor ;
— întreținere ușoară.

Relațiile de calcul teoretice deduse în lucrare sînt foarte bine confirmate experimental și ca atare pot constitui elemente sigure de proiectare a rotoarelor eoliene cu pale plane.

Bibliografie

[1] Hirschfeld, F. *Wind power pipe— dream or reality?* Mech. Engrg., sept. 1971, p. 20—28.
[2] Ramakumar, R. *Wind - electric conversion utilizing field modulated generator systems.* În : Solar Energy, vol. 20, 1978, p. 109—117.

Secţia II — Instalaţii electrice de automatizare, protecţie şi control în reţelele sistemelor electroenergetice. Conducerea şi siguranţa exploatării reţelelor sistemelor electroenergetice

Raport general

Ing. **Liliana Penciuc** şi Ing. **Ioan Zaharia**
— IRE Suceava —

În prima parte din cadrul secţiei a II-a sînt incluse un număr de 11 referate, care evidenţiază preocupări în domeniul instalaţiilor electrice de automatizare, protecţie şi control din reţelele electrice, ale institutelor politehnice din Bucureşti şi Cluj şi ale întreprinderilor de reţele electrice din Bacău, Craiova, Iaşi şi Suceava.

Dezvoltarea permanentă a reţelelor electrice de distribuţie impune în prezent realizarea unor instalaţii de teleconducere complexe cu fiabilitate foarte ridicată, care să permită îmbunătăţirea activităţii de conducere operativă prin stabilirea cu maximum de operativitate a măsurilor ce trebuie luate în regim normal sau de avarie, ducînd implicit la obţinerea unor importante economii datorită reducerii timpilor de nefuncţionare a unor obiective industriale şi reducerii personalului operativ.

Aceste probleme fac obiectul referatelor II.1.1, II.1.2, II.1.4, II.1.10, II.1.11 şi II .2.9.

În lucrarea II.1.1 sînt prezentate diferite posibilităţi de utilizare a mini- şi microcalculatoarelor care se fabrică în ţară, în instalaţiile electrice ale sistemului energetic de distribuţie.

Pe baza contractului nr. 420/1979 dintre IRE Suceava şi I. P. Bucureşti, s-a trecut la cercetarea şi realizarea în staţia 110/20 kV Suceava a unui model experimental pentru teleconducerea unei staţii de transformare.

Ca unitate centrală a fost folosit un microcalculator M 18, căruia i s-au adăugat o serie de interfeţe numerice şi analog/numerice.

În această fază s-a preluat pe calculator telecomanda, telesemnalizarea şi telemăsura celulelor de 20 kV din staţie şi telesemnalizarea şi telemăsura a două celule de 110 kV.

Informaţiile transmise sînt afişate, la cerere sau la oră exactă, pe un display DAF şi un CENTRONIX, la DEI, respectiv în staţia de transformare.

Experimentul efectuat a permis să se tragă următoarele concluzii :

— microcalculatorul M 18 se comportă bine în funcţionare, avînd în vedere că este montat în staţia de transformare 220/110 kV Suceava, deci într-un mediu puternic perturbator ;

— nu au apărut funcţionări false datorate perturbaţiilor pe linia de cablu dintre dispecer şi staţia Suceava (circa 10 km) ;

— nu au apărut perturbaţii datorită circuitelor de culegere a informaţiilor din staţie, în condiţiile utilizării cablurilor neecranate.

În lucrarea II.1.2 se face o sinteză a preocupărilor IRE Suceava pe linia modernizării mijloacelor de conducere şi exploatare a instalaţiilor electrice de distribuţie din zona de activitate a întreprinderii.

Principalele probleme dezbătute sînt următoarele :

— analiza volumului de informaţii schimbat cu staţia de transformare pentru asigurarea tuturor ancţiilor necesare în conducerea operativă, cît şi cele privitoare la optimizarea regimurilor de funcţionare, îmbunătăţirea condiţiilor de exploatare, dezvoltarea reţelelor, analize statistice etc. ;

— stabilirea volumului de staţii ce urmează a fi conduse de către un dispecer în condiţii optime din punct de vedere al siguranţei, al calităţii deciziei şi din punct de vedere economic ;

— stabilirea configuraţiei unui dispecer energetic de distribuţie pe baza posibilităţilor de dotare cu echipamente de calcul şi în concordanţă cu actuala organizare a conducerii operative şi administrative a instalaţiilor electrice ;

— alegerea unei configuraţii optime, utilizînd în totalitate echipamente fabricate în ţară, şi anume :

a) Pentru staţia de transformare : echipament terminal cu logică programabilă, în curs de omologare la FCE Bucureşti, care are performanţele cerute de aplicaţie.

b) Pentru dispecer : minicalculator tip CORAL 4011 (cu rezervare) interfaţat cu echipamentele standard şi de asemenea cu microcalculatorul M 118 — grafic, prevăzut cu două display-uri de afişare ;

— propuneri de completări cu funcţii (hard şi soft) la structura propusă.

Posibilităţile de realizare a transmisiei de date în condiţiile introducerii sistemelor de teleconducere cu calculatoare de proces, cu exemple concrete pentru IRE Suceava, sînt prezentate în lucrarea II.1.11.

Se evidenţiază aici faptul că din condiţiile specifice care apar la implementarea unui sistem într-o zonă de reţea a unei întreprinderi rezultă necesitatea utilizării combinate a celor trei tipuri de căi de transmisie : calea radio şi calea de curenţi purtători pe LEA pentru legături lungi, iar în cazul legăturilor scurte din cadrul oraşelor rezultă avantajoasă folosirea cablurilor proprii sau închiriate. Exploatarea staţiilor electrice prin sisteme de teleconducere pe bază de calculator impune utilizarea unor căi de transmisie rezervate, cu posibilitatea trecerii automate pe calea de rezervă în cazul defectării căii principale. Este analizat sistemul de transmisie al IRE Suceava, luîndu-se în considerare două variante : exploatarea tuturor staţiilor de transformare de către un singur DED şi de către trei DED. Din punct de vedere al costului şi al siguranţei transmisiei, rezultă avantajoasă varianta a II-a.

În lucrarea II.1.10 sînt tratate condiţiile tehnice pentru telemecanizarea staţiilor de transformare. Avîndu-se în vedere modul concret de lucru al dispecerului, posibilităţile de culegere a informaţiilor din staţiile de transformare şi instrucţiunile de lichidare a avariilor, s-a stabilit volumul maxim de informaţii de care trebuie să dispună dispecerul pentru a-şi putea asuma funcţia de teleconducere a staţiilor de transformare. S-au stabilit de asemenea modul de alarmare şi informare a dispecerului, precum şi posibilităţile actuale şi de perspectivă ale unui sistem de teleconducere a staţiilor de transformare.

În lucrarea II.2.9 sînt tratate posibilităţile de modernizare a conducerii operative a staţiilor de transformare din reţeaua IRE Iaşi. Aceste posibilităţi sînt următoarele :

— dotarea cu calculator a treptei de dispecer şi realizarea unor canale de legătură directă cu toate staţiile ;

— dotarea cu calculator a DEI şi cu microprocesoare a staţiilor de transformare ;

— dotarea cu calculator a DEI, cu microcalculatoare a unor staţii de transformare importante şi cu microprocesoare a celorlalte staţii, staţiile de transformare importante fiind organizate ca puncte de comandă pentru grupuri

de stații mai mici. În lucrare este tratată problema telemecanizării stațiilor din municipiul Iași și se optează pentru cea de-a treia variantă de dotare și organizare a conducerii operative.

În lucrarea II.1.4 este prezentată o instalație de telemecanică, de tip clasic, pentru stațiile de transformare, instalație mult mai simplă decît cele executate de ICEMENERG, nouă ca mod de concepție și soluție de realizare. Cu ajutorul acestei instalații se pot realiza următoarele operații :

— telecomanda unui număr de 30 întrerupătoare ;
— telesemnalizarea de poziție a acestora ;
— telesemnalizarea stărilor preventive și de avarii ;
— telemăsura de tensiune pe barele de medie tensiune ;
— căutarea automată a întrerupătorului care a declanșat și telesemnalizarea lui.

Transmiterea semnalelor se face prin cablu-pilot telefonic, iar instalația se poate folosi pentru stații amplasate la distanțe mici de punctul de comandă (3—10 km). Această instalație este o soluție de tranziție pînă la introducerea sistemelor de teleconducere pe bază de calculator.

Descrierea unei instalații de telesemnalizare ciclic bipozițională, brevetată de OSIM, care folosește o singură cale de transmisie și la care sînt conectate în derivație echipamente satelit, precum și un echipament de sincronizare, face obiectul lucrării II.1.5.

Preocuparea găsirii unor soluții noi de proiectare a stațiilor de transformare și a instalațiilor aferente acestora este oglindită în lucrările II.1.6, II.1.8, II.1.9.

În lucrarea II.1.6 se propune un nou mod de realizare a protecțiilor dintr-o stație de MT, și anume :

— protecție maximală de curent temporizată pentru fiecare celulă de MT ;
— protecție de distanță PD-1, modificată, pentru fiecare transformator ; această protecție va funcționa în felul următor :

a) declanșează transformatorul dacă nici una din protecțiile maximale temporizate ale liniilor și cuplei nu a demarat ;
b) declanșează cupla dacă nici una din protecțiile maximale temporizate ale liniilor nu a demarat ;
c) declanșează linia MT a cărei protecție maximală temporizată a demarat ;
d) declanșează rapid sursa dacă lipsește curentul operativ la LEA MT pe care a apărut scurtcircuitul ;
e) declanșează temporizat (0,5 secunde) sursa dacă întrerupătorul liniei defecte refuză declanșarea.

Soluția propusă permite eliminarea rapidă și selectivă a scurtcircuitelor apărute în celulele MT, sau a acelora de pe LEA, urmate de refuzul de declanșare a întrerupătorului (scurtcircuite eliminate în varianta clasică, de către protecția maximală a trafo, în două-trei secunde), precum și a scurtcircuitelor apropiate pe LEA, suplinind cu succes protecțiile maximale rapide ale LEA, protecții la care se renunță.

Lucrarea II.1.8 face o comparație tehnico-economică între cele două soluții de realizare a stațiilor racord adînc :

— soluția I : fără întrerupătoare pe partea de 110 kV a TRAFO, cu realizarea protecției trafo 110 kV/MT prin cablu-pilot.
— soluția II : cu întrerupătoare pe partea de 110 kV a TRAFO și cu realizarea locală a protecției trafo 110 kV/MT. Rezultă că soluția II este superioară din punct de vedere tehnico-economic și se propune renunțarea la soluția I.

În lucrarea II.1.9 se tratează problemele referitoare la diversificarea și specializarea siguranțelor fuzibile de înaltă tensiune în funcție de circuitul care trebuie protejat. Se analizează caracteristicile timp-curent și caracteristicile de limitare adecvate pentru protecția circuitelor care conțin motoare, transformatoare, condensatoare, precum și posibilitățile de obținere a acestora și se indică modul de alegere și utilizare a acestor siguranțe în exploatare.

Lucrarea II.1.3 prezintă realizarea practică experimentală a unui micromotor oscilant ferorezonant cu dublă acțiune. Micromotorul ferorezonant oscilant are o construcție extrem de simplă și o siguranță ridicată în funcționare. Puterea mică (1—100 W), cursa mică (2—10 mm) și frecvența armăturii (10—20 Hz) îl recomandă a fi utilizat la pompe și compresoare avînd debite mici.

Lucrarea II.1.7. reprezintă o contribuție a autorului la dezvoltarea teoriei simplificate a funcționării mutatorului cu trei pulsuri, folosit în mod curent în electronica de putere. Accentul este pus pe funcționarea mutatorului ca generator de curenți armonici în rețeaua electrică a sistemului de alimentare.

Conducerea și siguranța exploatării rețelelor electrice face obiectul a 11 lucrări cuprinse în partea a II-a a secției II.

Lucrarea II.2.1 prezintă o serie de metode și procedee destinate unor studii operative aferente analizelor de siguranță a funcționării SEN. Sînt descrise principalele programe de calcul elaborate pentru reducerea schemelor pe principiile analizei nodale DIMO, pentru analize de stabilitate statică, contingențe, oscilații de putere pe LEA de interconexiune a SEN etc.

Lucrarea II.2.2 analizează aspecte privind insularizarea centralelor de termoficare, criteriile care stau la baza automaticii de separare, factorii care conduc la reușita insularizării. Se prezintă o serie de rezultate ale unor probe efectuate la CET—CCH Suceava și CFS Săvinești. S-a studiat experimental insularizarea grupurilor de condensație și priză, insularizarea grupurilor cu contrapresiune și insularizarea unei platforme care are atît grupuri cu condensație și priză, cît și grupuri cu contrapresiune.

Se trag următoarele concluzii :

— insularizarea grupurilor cu condensație și priză nu pune probleme legate de regimul termic : mai mult chiar, după un regim dinamic nu pune probleme de stabilitate sau de comportare a RAV sau RAT ;
— la grupurile cu contrapresiune, insularizarea este legată de regimul termic și electric ;
— probele privind insularizarea platformelor industriale care au atît grupuri cu condensație și priză, cît și grupuri cu contrapresiune nu au condus la rezultate favorabile ;
— separarea grupurilor cu condensație și priză și a celor cu contrapresiune trebuie să se facă în insule distincte, avînd în vedere caracteristicile diferite ale acestora. Este de preferat ca într-o insulă să nu existe decît un singur grup sau cel mult grupuri de același tip, cu aceleași caracteristici.

Lucrarea II.2.3 prezintă un model de calcul al siguranței în funcționare a instalațiilor energetice în cazul în care diverse echipamente sînt prevăzute cu rezervare pasivă sau semipasivă. Se exemplifică cazul rezervării pasive a mai multor trafo și rezervării semipasive a celulelor 110 kV cu ajutorul celulei cuplă de transfer. Se au în vedere diferite strategii posibile de înlocuire a elementelor defecte cu cele de rezervă, precum și eficiența rezervării funcție de numărul elementelor de rezervă. Se ajunge la concluzia că, pe anumite platforme industriale sau pentru alimentarea unor consumatori urbani sau rurali, trebuie avute în vedere și soluții cu rezervări pasive, acestea constituind un mijloc eficient de simplificare a instalațiilor.

Lucrarea II.2.4 tratează problema determinării prin calcul a indicatorului de fiabilitate λ al LEA funcție de încărcările mecanice provenite din condițiile climato-meteorologice. Din prelucrarea statistică a unui volum mare de date s-au putut determina constantele funcție de frecvență ale vitezelor maxime ale vîntului în diferite zone sau microzone meteorologice ale țării. Cunoașterea acestora a permis deducerea numărului probabil de întreruperi în funcționarea liniilor, rezultate din avarierea elementelor componente ale acestora la solicitări care depășesc limitele de încărcare admise, precum și determinarea valorică a indicatorului de fiabilitate λ.

În lucrare se prezintă datele generale, modelul matematic, elementele de program pentru rezolvarea problemei pe calculator și rezultatele de calcul pentru cîteva cazuri concrete.

Lucrarea II.2.5 pune în discuție studiul și realizarea unor măsuri de prevenire a unor avarii în cascadă la LEA de înaltă tensiune. Se descriu cîteva avarii de acest fel, se face o comparație între măsurile adoptate în acest domeniu în alte țări și concepția proiectării LEA de înaltă tensiune în țara noastră și se fac propuneri pentru îmbunătățirea normativelor și proiectelor actuale.

Lucrarea II.2.6 se referă la posibilitatea creșterii eficienței noilor investiții prin îmbunătățirea siguranței în funcționare a rețelelor de distribuție din incinta întreprinderilor industriale. Soluțiile propuse sînt justificate prin calcule tehnico-economice. Se prezintă metodologii de evidență statistică pentru întreprinderi și evaluări operative de eficiență pentru proiectare, folosindu-se tabele și nomograme cu indicatori. Problemele tratate se referă la acele elemente de creștere a fiabilității rețelelor pentru care se pot da soluții cu caracter de directivare, cum ar fi : buclarea racordului de MT din incintă, limitarea puterii transformatoarelor de rețea de 20/0,4 kV și 6/0,4 kV la 630 kVA, simplificarea tabloului general de distribuție din posturi etc.

Lucrarea II.2.7 analizează diferite soluții de alimentare cu energie electrică a unei platforme industriale importante, amplasată la distanță mare de sursele de energie, în condițiile asigurării unui grad de siguranță corespunzător și a unui nivel de pierderi redus.

Lucrarea II.2.8 prezintă indicatorii de fiabilitate pe categorii de instalații și niveluri de tensiuni, conform informațiilor preluate din prelucrarea fișelor de incidente și de deteriorări de echipamente, de la Întreprinderea de rețele electrice Iași în perioada 1974—1979. Aceste analize sînt preluate în vederea stabilirii posibilităților de prevenire a incidentelor și deteriorărilor de echipamente. De asemenea, analiza statistică efectuată stă la baza programării lucrărilor de înlocuire a izolației.

Un dispozitiv care asigură o reglare automată optimală a tensiunii în rețelele de MT face obiectul referatului II.2.10.

Lucrarea II.2.12. prezintă un nou sistem și o nouă metodă de măsurare și prelucrare automată pe calculator a mărimilor electrice caracteristice încercărilor care se execută în cadrul laboratorului de măsurători profilactice de la E.P. Craiova. În lucrare se face o comparație între metoda propusă și metoda clasică.

Un program de calcul pentru urmărirea realizării sarcinilor rezultate din hotărîrile de partid și de stat, hotărîrile M.E.E.—CIRE, IRE Iași și planuri de măsuri interne ale IRE Iași fac obiectul lucrării II.2.11.

Din analiza problemelor tratate în cadrul secției a II-a, considerăm ca esențiale următoarele concluzii :

— necesitatea adoptării unor soluții noi în proiectarea stațiilor de transformare, centralelor electrice, rețelelor electrice, instalațiilor de distribuție a energiei electrice din cadrul întreprinderilor industriale, instalațiilor de protecție și automatizare aferente acestora, soluții superioare din punct de vedere tehnico-economic ;

— necesitatea și oportunitatea introducerii în exploatare a sistemelor de teleconducere la nivelul rețelei de distribuție 110 kV/MT, începînd din actualul cincinal, date fiind cerințele majore impuse de economia națională modului de funcționare a SEN ;

— avîndu-se în vedere situația delicată privind importurile de echipamente și tehnologii, precum și progresele realizate de industria de calculatoare, se impune experimentarea și realizarea în țară a echipamentelor de teleconducere ;

— arhitectura sistemului de teleconducere trebuie să fie competitivă cu sistemele utilizate în țările avansate. Pentru îndeplinirea acestui deziderat structura sistemului adoptat trebuie să permită dezvoltarea și perfecționarea ulterioară.

Considerații cu privire la introducerea sistemului de teleconducere pe bază de calculator în rețeaua electrică de distribuție a I.R.E. Suceava

Ing. **Ov. Mustață**, Ing. **Tr. Chiriac**, Ing. **I. Zegrean**, Ing. **R. Sfichi** și Ing. **C. Poenaru**

— IRE Suceava —

1. Considerații generale

Lucrarea de față are drept scop prezentarea preocupărilor și realizărilor IRE Suceava pe linia modernizării mijloacelor de conducere și deservire operativă a rețelelor electrice de distribuție.

Preocuparea apare ca o consecință firească a dezvoltării deosebite a părții de distribuție a sistemului energetic național (SEN) și, deopotrivă, a noilor cerințe care se impun funcționării acesteia vizînd mărirea siguranței în exploatare, reducerea consumului propriu tehnologic și utilizarea rațională a potențialului energetic, creșterea productivității muncii prin reducerea numerică a personalului de exploatare, creșterea operativității și optimizării deciziilor adoptate.

Actualul sistem de exploatare a stațiilor electrice de transformare se bazează în principal pe utilizarea personalului permanent de tură sau în regim de exploatare de la domiciliu, supravegherea și comanda făcîndu-se din camera de comandă. Activitatea acestui personal este de o importanță deosebită în regim de avarie, dar în regim normal activitatea sa este restrînsă. În regim de avarie, dată fiind viteza mare de succesiune a evenimentelor, precum și numărul mare al acestora, personalul de exploatare este suprasolicitat — situație cu urmări negative atît în ceea ce privește operativitatea în acțiuni, cît și obiectivitatea datelor înregistrate privind modul de desfășurare a incidentului.

De asemenea, avînd în vedere restricțiile privind consumurile de energie, nivelul actual de dotare a stațiilor de transformare nu permite o urmărire satisfăcătoare a regimului de funcționare a rețelei și, totodată, o comandă operativă a acestuia.

Toate aceste cerințe se înscriu pe linia creșterii eficienței în exploatare a SEN.

După cum rezultă din studiile efectuate în țara noastră [1], [2], [3], [4], [5], [6] și avînd în vedere, în același timp, modul de rezolvare a problemei în alte țări [8], [9], [10], se impune introducerea sistemelor integrate care să asigure supravegherea și comanda instalațiilor de la distanță.

Concentrarea funcțiilor de conducere și deservire operativă într-un punct central oferă o rezolvare economic avantajoasă a tuturor cerințelor enunțate mai sus.

Din punct de vedere tehnic apar posibile două soluții de rezolvare, una în care se utilizează echipamente de telemecanică clasice, cu logică cablată, și a doua, în care se utilizează o rețea de micro- și minicalculatoare interconectate. Cele două soluții, deși economic sînt comparabile, se deosebesc net în privința performanțelor. A doua soluție oferă o serie de avantaje, cum ar fi:

— utilizarea echipamentelor standard pentru toate aplicațiile practice, adaptările la condițiile specifice făcîndu-se prin intermediul software-ului de aplicație — fapt care permite modificări ale configurației și dezvoltări ulterioare;

— echipamentele au o fiabilitate sporită dat fiind numărul redus al componentelor incluse și consumurile proprii reduse;

— aceleași echipamente permit implementarea unor funcții complexe privind tratarea informațiilor atît la nivelul stației de transformare, cît și la nivelul dispecerului;

— sistemul, fiind dotat cu echipamente de calcul, permite execuția unor programe de aplicație diverse, inclusiv a celor de optimizare a regimurilor de funcționare;

— soluția permite implementarea, la nivelul stației de transformare, a funcțiilor de automatizări și protecții;

— vehicularea informației în cadrul sistemului se face mult mai rapid, date fiind posibilitățile de flexibilitate în alegerea procedurilor de transmisie.

Adoptarea soluției de teleconducere a rețelelor electrice de distribuție folosind calculatoare de proces este, la ora actuală, posibilă, avînd în vedere existența în fabricație de serie a calculatoarelor de talie mini și micro, care întrunesc în mare condițiile cerute în energetică.

De asemenea, în ceea ce privește software-ul, sînt condiții de realizare în țară.

2. Configurația sistemului de teleconducere propus

Implementarea unui sistem de conducere presupune realizarea unor condiții, cum ar fi:

— alegerea unei configurații care să permită realizarea integrală a cerințelor și funcțiunilor atît pe linia conducerii și deservirii instalațiilor, cît și a celor care contribuie la îmbunătățirea activității întreprinderii în ansamblu;

— configurația aleasă trebuie să fie optimă sub aspectul indicatorului cost/performanță;

— configurația propusă trebuie să se adapteze cît mai bine la structura actuală de organizare a exploatării instalațiilor și să permită modificări și dezvoltări ulterioare;

— sistemul să prezinte o fiabilitate ridicată.

În cele ce urmează se descrie configurația propusă, alcătuită integral din echipamente de producție românească și care satisfac condițiile de siguranță, imunitate la perturbații externe și capacitate, cerute de aplicație.

Astfel, pentru realizarea funcțiilor specifice stațiilor de transformare, se propune utilizarea interfețelor de proces de tip SPOT — 80, realizate de Fabrica de calculatoare electronice (FCE) București.

La nivelul punctului de dispecer se propune utilizarea calculatorului CORAL 4011 A, de asemenea în fabricație la FCE București.

Aceste echipamente urmează să fie integrate într-o rețea, legăturile fiind realizate prin intermediul modemurilor și al căilor de transmisie.

Dimensionarea sistemului s-a făcut avînd în vedere volumul necesar de informații schimbat cu stațiile de transformare în conformitate cu cerințele impuse sistemului, posibilitățile operatorului de la punctul de dispecer și eventualele dezvoltări viitoare.

Astfel, s-a convenit ca numărul de stații incluse în rețeaua de teleconducere să fie pînă la 32. Acest număr satisface pe deplin cerințele mai sus enumerate și, de asemenea, permite o structurare bună a rețelei de telecomunicații, organizarea corespunzătoare a activității de intervenții, o structurare judicioasă a conducerii și deservirii operative la nivelul întreprinderii de rețele electrice.

3. Dotarea stației de transformare cu echipamente de teleconducere

Potrivit configurației propuse, în stația de transformare se montează un echipament terminal de telemecanică reprezentat printr-o interfață de proces FCE și elemente de conectare la circuitele stației și, respectiv, de cuplare la calea de comunicații.

Echipamentul terminal din stație este astfel structurat hard și soft încît să permită realizarea următoarelor funcții :

— culegerea de informații numerice (semnalizări) și analogice (măsuri) din stație necesare procesului de supraveghere ;

— emiterea de comenzi de comutare și reglaj la echipamentele stației ;

— validarea și prelucrarea informațiilor ;

— asigurarea conversației cu punctul central de teleconducere (dispecer) ;

— realizarea funcțiilor de automatizare, protecție, modificări valori consemn, execuția comenzilor globale etc.

Interfața FCE este structurată pe microprocesorul INTEL—8080 și are în componență următoarele module :

— modul cuplor (CPU) ;
— module intrări numerice ;
— module ieșiri numerice ;
— module intrări analogice etc.

Modulul de cuplare (*CPU*) este o unitate „inteligentă" și deci poate realiza funcții programabile.

În cadrul sistemului, modulul CPU are rolul de comandă a modulelor de interfațare la proces, de prelucrare a informațiilor și de susținere a conversației cu minicalculatorul de la dispecer.

Modulul de cuplare este alcătuit din :

— unitate centrală cu procesorul INTEL 8080 ;
— ceas de timp real programabil (I 8224) ;
— sistem de întreruperi (I 8259) ;
— memorie RAM—8 KO ;
— memorie REPROM—16 KO ;
— interfață serială asincronă (USART 8255) ;
— magistrală de date, adrese, control.

Conversația cuplorului cu modulele de intrare-ieșire tratate ca periferice se realizează prin sistemul de întreruperi. Numărul de module de intrare-ieșire care se pot conecta simultan la magistrala acestuia este de 15, din care maximum 7 de intrare.

Modulul de intrări numerice asigură supravegherea și citirea intrărilor numerice binare, culese de pe contacte izolate electric. Numărul intrărilor numerice pe modul este de 128.

Modulul de intrări numerice poate îndeplini două funcții diferite :

— supraveghează prin scrutarea ciclică intrările și, în cazul apariției unei modificări, emite spre magistrală un semnal de întrerupere, adresa contactului și noua valoare ;

— la cererea CPU citește o linie de 8 contacte și le transmite acestuia.

Modulul de ieșiri numerice asigură emiterea unor semnale de comandă în instalație prin intermediul unor relee Reed sau optocuploare. Aceste elemente asigură separarea galvanică față de circuitele stației.

Durata menținerii impulsului de comandă este stabilită prin program. Numărul de comenzi pe modul este de 128.

Controlul execuției comenzii este realizat prin intermediul modulului de intrări numerice.

Modulul de intrări analogice asigură preluarea unui număr de 64 mărimi analogice prezentate la intrare în semnale unificate, de la traductoare. La nivelul modulului are loc conversia analog-numerică pe 10 biți.

Cererea și obținerea unei mărimi sau a unui bloc de mărimi este inițiată de microprocesor.

Se admit la intrare semnale în curent 0—10 mA 0—20 mA, 2—10 mA și, respectiv, 4—20 mA.

Modulul permite preluarea semnalelor unificate bipolare, respectiv 0 ± 5 mA sau 0 ± 10 mA, prin repoziționarea punctului zero pe scara de măsurare.

Structura echipamentului de la o stație de transformare este prezentată în figura 1.

Este de precizat că numărul de module de interfațare la proces se stabilește în funcție de profilul și capacitatea stației de transformare în care se montează.

Fiind un echipament cu logică programabilă, și prevăzut cu sistem de întreruperi și ceas de timp real, echipamentul terminal din stație (ETS) are o mare flexibilitate în realizarea funcțiilor amintite.

În ceea ce privește software-ul, se are în vedere aplicarea sistemului de programe de operare în timp real RTOS—80, elaborat de Institutul central pentru conducerea și informatică (ICCI). RTOS—80 este un sistem de operare multitasking capabil să asigure execuția concurentă a mai multor programe. Activitatea task-urilor se face pe baza unor stimuli externi (intervenția operatorului sau modificării de stare intervenită în procesul supravegheat).

4. Dotarea dispecerului cu echipamente de teleconducere

Echipamentele de teleconducere amplasate la dispecer trebuie să asigure următoarele funcțiuni de bază :

— să asigure coordonarea echipamentelor terminale din stații de transformare, echipamentul de la dispecer fiind „master", utilizînd proceduri de telecomunicație rapide și sigure ;

— să asigure „dialogul" dispecerului cu sistemul de teleconducere prin interfețe și proceduri adecvate ;

— să permită execuția unor programe energetice ;

— să asigure funcții de diagnostic al sistemului.

Pentru implementarea acestor funcții se propune utilizarea unui sistem de calcul bazat pe minicalculatorul CORAL 4011 A.

Configurația propusă pentru dispecer este prezentată în figura 2.

Pentru realizarea unei asemenea configurații sînt necesare :

— două minicalculatoare CORAL 4011 A, cu capacitate minimă a memoriei de 125 Kc (unul dintre ele fiind de rezervă) ;
— două discuri cartuș CD—40 ;

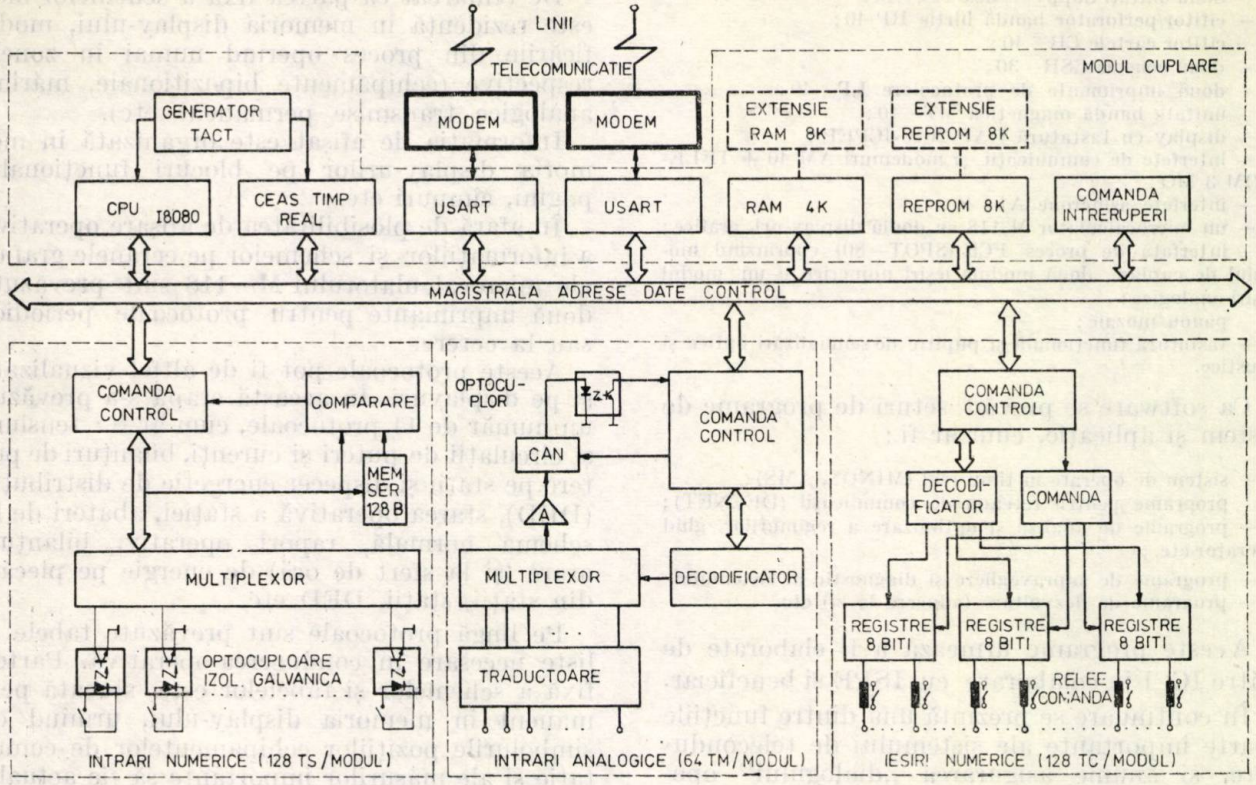


Fig. 1. Structura echipamentului terminal dintr-o stație de transformare.

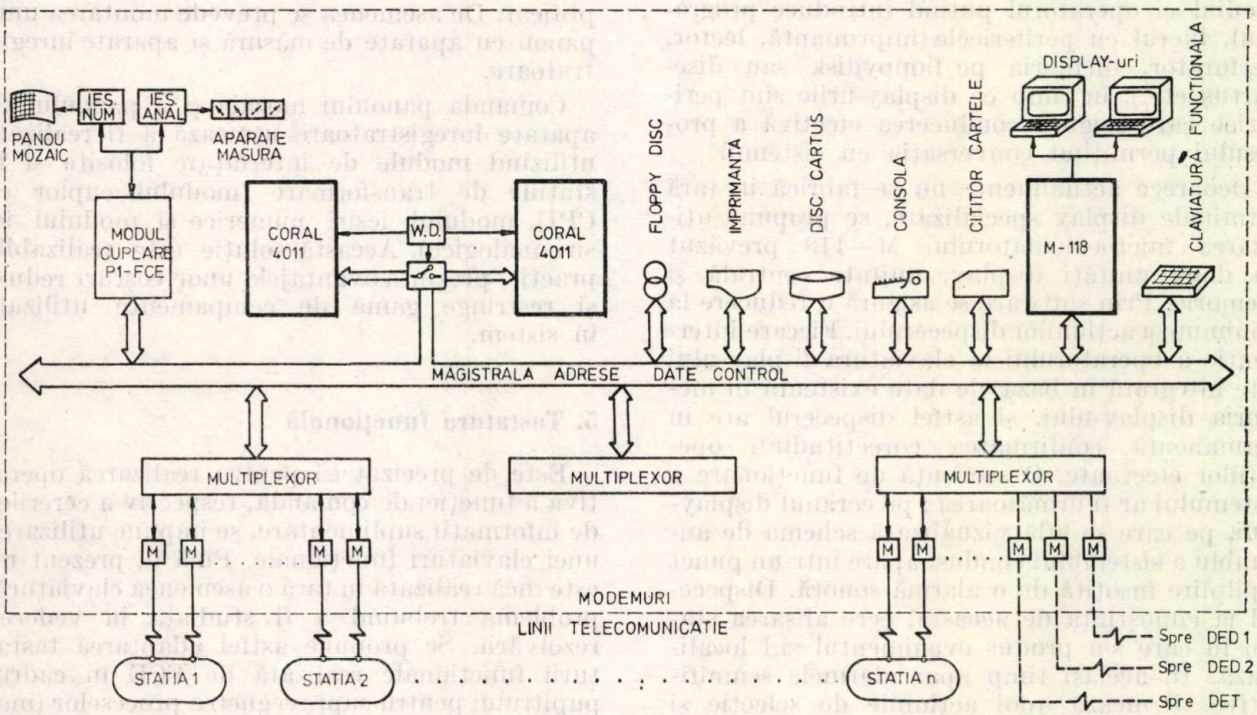


Fig. 2. Structura sistemului de teleconducere la nivel de dispecer.

— două unităţi floppy — disc FD—40;
— cititor/perforator bandă hîrtie RP/40;
— cititor cartele CR—40;
— două console CSR—30;
— două imprimante de protocolare LP—40;
— unitate bandă magnetică MT—40;
— display cu tastatură DAF 2010-ICPER;
— interfeţe de comunicaţii şi modemuri AM 40 + TELEROM 3 MO;
— interfeţe asincrone AI—40;
— un microcalculator M 118 cu două display-uri grafice;
— interfaţă de proces FCE (SPOT—80) cuprinzînd modulul de cuplare, două module ieşiri numerice şi un modul ieşiri analogice;
— panou mozaic;
— tastatură funcţională şi pupitre de semnalizări optice şi acustice.

Ca software se prevăd seturi de programe de sistem şi aplicaţie, cum ar fi:

— sistem de operare în timp real (MINOS, AMS);
— programe pentru reţeaua de comunicaţii (DECNET);
— programe de analiză şi optimizare a regimurilor, ghid operator etc.;
— programe de supraveghere şi diagnostic al sistemului;
— programe de dezvoltare (aducere la zi) etc.

Aceste programe urmează a fi elaborate de către ICCI în colaborare cu ISPE şi beneficiar.

În continuare se prezintă una dintre funcţiile foarte importante ale sistemului de teleconducere, şi anume asigurarea „dialogului" operatorului cu acesta.

Conducerea şi deservirea operativă a sistemului electroenergetic zonal se realizează de către operatorul-dispecer în regim conversaţional cu calculatorul de serviciu. Conducerea este realizată prin intermediul a două console şi a două sau trei display-uri. Consola înlesneşte dialogul clasic operator-calculator, prin intermediul ei operatorul putînd introduce programul, lucrul cu perifericele (imprimantă, lector, perforator, memoria pe floppydisk sau disc-cartuş etc.), în timp ce display-urile sînt periferice care asigură conducerea efectivă a procesului permiţînd conversaţia cu sistemul.

Deoarece actualmente nu se fabrică în ţară terminale display specializate, se propune utilizarea microcalculatorului M—118 prevăzut cu două unităţi display, unitate centrală şi memorie. Prin software se asigură o reducere la minimum a acţiunilor dispecerului. Fiecare intervenţie a operatorului la claviatura display-ului este integrată în baza de date existentă în memoria display-ului, şi astfel dispecerul are în permanenţă confirmarea corectitudinii operaţiilor efectuate. O secvenţă de funcţionare a sistemului ar fi următoarea: pe ecranul display-ului, pe care se află vizualizată schema de ansamblu a sistemului condus, apare într-un punct o pîlpîire însoţită de o alarmă sonoră. Dispecerul ia cunoştinţă de aceasta, cere afişarea staţiei în care s-a produs evenimentul şi-l localizează. În acelaşi timp apar alarmele semnificative. Urmează apoi acţiunile de selecţie şi execuţie a comenzii.

De remarcat că partea fixă a schemelor-bloc este rezidentă în memoria display-ului, modificările din proces operînd numai în zonele respective (echipamente bipoziţionale, mărimi analogice transmise permanent etc).

Informaţia de afişat este organizată în memoria display-urilor pe blocuri funcţionale, pagini, cîmpuri etc.

În afară de plosibilitatea de afişare operativă a informaţiilor şi schemelor pe ecranele grafice ale microcalculatorului M—118 sînt prevăzute două imprimante pentru protocoale periodice sau la cerere.

Aceste protocoale pot fi de altfel vizualizate şi pe displayuri. În această etapă s-a prevăzut un număr de 11 protocoale, cum ar fi: tensiuni şi circulaţii de puteri şi curenţi, bilanţuri de putere pe staţii şi dispecer energetic de distribuţie (DED), starea operativă a staţiei, abateri de la schema normală, raport operativ, bilanţuri orare (şi la sfert de oră) de energie pe plecări din staţii, staţii, DED etc.

Pe lîngă protocoale sînt prevăzute tabele şi liste necesare în conducerea operativă. Partea fixă a schemelor şi tabelelor este stocată permanent în memoria display-ului, urmînd ca simbolurile poziţiilor echipamentelor de comutaţie şi ale măsurilor importante să fie actualizate în permanenţă pe schema afişată. Acest lucru conferă o operativitate sporită în supraveghere şi comandă. Pentru realizarea funcţiei de selecţie a comenzii se are în vedere preocuparea FCE de a adăuga circuitul „light pen" la microcalculatorul M—118.

Pentru realizarea unei imagini de ansamblu a sistemului, se prevede un panou mozaic simplificat. De asemenea se prevede montarea unui panou cu aparate de măsură şi aparate înregistratoare.

Comanda panoului mozaic şi a panoului cu aparate înregistratoare urmează a fi realizată utilizînd module de interfaţare folosite şi în staţiile de transformare (modulul cuplor cu CPU, modulul ieşiri numerice şi modulul ieşiri analogice). Această soluţie este realizabilă practic, prezintă avantajele unor costuri reduse şi restrînge gama de echipamente utilizate în sistem.

5. Tastatura funcţională

Este de precizat că pentru realizarea operativă a funcţiei de comandă, respectiv a cererilor de informaţii suplimentare, se impune utilizarea unei claviaturi funcţionale. Pînă în prezent nu este încă realizată în ţară o asemenea claviatură, problema trebuind a fi studiată în vederea rezolvării. Se propune astfel adaptarea tastaturii funcţionale realizată de FCE în cadrul pupitrului pentru supravegherea proceselor (modul P 8—SPOT—80).

6. Sistemul de comunicaţii

Implementarea teleprelucrării ca mijloc modern de prelucrare automată a datelor presupune în primul rînd posibilitatea de a transmite informaţia la distanţă.

Analiza mijloacelor capabile să rezolve acest obiectiv a condus la concluzia că soluţia cea mai avantajoasă o constituie folosirea reţelei de comunicaţie existente aflate în exploatarea Direcţiilor judeţene de poştă şi telecomunicaţii pentru telefonie şi telegrafie. Pentru realizarea legăturilor între echipamentele de calcul trebuie făcută o analiză atentă şi detaliată a sistemului de teleprelucrare, care cuprinde dispozitive de control a teletransmisiei, dispozitive adaptoare de linie şi terminale.

Controlul terminalelor prin calculatoare permite realizarea unor prelucrări locale, eliminîndu-se astfel anumite transferuri de informaţii. Comunicaţiile care au drept scop transmisii de date (legături de date sau DATA-LINK) au un specific bine conturat ce le deosebeşte de celelalte tipuri de comunicaţii. Acest sistem de comunicaţie (teleprelucrare) între echipamente prin intermediul liniilor de telecomunicaţie cuprinde :

— informaţia propriu-zisă, formată din date alfanumerice ;

— informaţii de control : adrese, comenzi, ordine, caractere de control şi informaţii de stare.

Echipamentele terminale sînt legate de echipamentele centrale printr-o singură linie, pe care informaţiile de diferite categorii se transmit serial. Din acest motiv este necesar să se introducă o disciplină prin care să se poată separa informaţia propriu-zisă de informaţia de control. Pe de altă parte, această disciplină trebuie să prevadă şi metodele de verificare la erori şi validare a informaţiei utile. Scopul disciplinei de control a unei legături de date este de a oferi o gramatică cu ajutorul căreia două sau mai multe staţii de transformare pot să converseze sau să schimbe informaţii pe un canal, într-o manieră eficientă şi sigură.

O procedură de comunicaţie se bazează şi pe respectarea unei anumite discipline de secvenţă în transmiterea şi recepţionarea datelor, precum şi pe utilizarea unor caractere de control care au coduri consacrate şi etichetează grupuri de caractere de date sau semnalează anumite condiţii specifice. Funcţiile principale pe care trebuie să le realizeze o procedură de control sînt următoarele :

— adresarea şi identificarea unei staţii de transformare ;

— confirmarea stabilirii legăturii ;

— protejarea informaţiei utile cu informaţii redundante, care oferă criteriul detecţiei erorilor de recepţie ;

— verificarea informaţiilor recepţionate în legătură cu erorile introduse de canal ;

— separarea din cadrul unui bloc transmis a informaţiei propriu-zise de informaţia de control însoţitoare ;

— sincronizarea staţiei receptoare de către staţia transmiţătoare ;

— minimizarea timpilor de inactivitate privind utilizarea canalelor.

Transmisia directă în linie a datelor rezultate din citirea unor suporturi tehnice de informaţii nu este posibilă deoarece semnalele ce materializează codurile binare corespunzătoare unor caractere de date (semnale digitale) diferă de semnalele pentru care au fost construite liniile de telecomunicaţii (semnale analogice).

Adaptarea transmisiilor de date la caracteristicile analogice ale liniilor se realizează prin echipamente numite MODEM-uri (MODulator/DEModulator). Transmisiile de date au loc în ambele sensuri ale liniei de telecomunicaţie, fiecare din capetele liniei trebuind a fi echipate cu acest tip de echipament (MODEM-uri).

Pe lîngă acest aspect, trebuie să se ţină seama de încă două necesităţi de pregătire a procesului de teletransmisie a datelor : eşantionare şi sincronizare şi, respectiv, codificarea redundantă a mesajelor (verificare prin paritate încrucişată, codificare polinomial-ciclică, coduri de pondere constantă).

Echipamentele de calcul trebuie dotate cu sisteme de calcul pentru asigurarea funcţiilor de supraveghere şi control a canalelor de transmitere a datelor.

Se propune o configuraţie de legătură punct la punct pe linii permanente. Pentru transmisie, informaţiile, în ambele sensuri, se organizează pe o structură de telegramă. O telegramă conţine un număr de cuvinte, fiecare cuvînt avînd 11 biţi.

Lungimea telegramelor este variabilă, în funcţie de numărul de informaţii necesar a fi transmis. Structura generală a unei telegrame este de felul :

| SINC | ADR ... | DATE ... | CONTR ... |

Fiecare cuvînt este împachetat în caractere suplimentare de START, paritate transversală, STOP. La recepţie, biţii suplimentari sînt controlaţi (cu generarea unei informaţii de defect, dacă acesta a fost detectat) şi apoi abandonaţi.

Telegramele sînt de trei mari categorii : telesemnalizări, telemăsuri şi telecomenzi. În cazul telesemnalizărilor şi telemăsurilor, acestea sînt verificate la recepţie şi, în caz de detectare a erorilor introduse pe canalul de transmisii, se cere retransmiterea blocului de date. Dacă după trei repetări informaţia provine tot cu erori, se trece la utilizarea căii de rezervă şi, respectiv, la testarea canalului. În funcţie de

rezultatul acestei operații, se informează dispecerul despre defectul detectat (echipament de transmisie defect sau cale puternic perturbată).

În cazul telecomenzilor, procedura de transmisie se realizează după metoda ecou în două faze : selectarea echipamentului de la dispecer și confirmarea selectării din stația de transformare și, respectiv, comanda propriu-zisă cu confirmarea execuției.

Dialogul între stațiile de transformare și dispecer se realizează prin multiplexarea de către calculatorul central a liniilor de legătură, așteptînd un timp pentru a constata dacă, eventual, în vreo stație au survenit modificări față de testarea stărilor precedente.

Legătura între stațiile de transformare și dispecer se realizează prin cablu telefonic și cale radio sau prin curenți purtători pe LEA.

Legătura cu fiecare stație se realizează pe două căi (una de rezervă), urmărind fiecare trasee fizice diferite. Rezervarea căilor se impune a se realiza concomitent și cu rezervarea modemurilor

Cererile de repetare a mesajelor sau comenzile de comutare a căilor de transmisie se iau numai la nivel de calculator central. O procedură de comunicație trebuie astfel concepută încît să aibă o arhitectură corespunzătoare și flexibilă pentru a putea fi implementată la o mare diversitate de configurații și moduri de exploatare. Pe de altă parte, structura de adresare și control trebuie să fie realizată ca un sistem deschis, care să permită extinderea numărului de stații din configurație și înzestrarea lor cu noi facilități, fără ca programele de aplicație ale utilizatorului să fie afectate de aceste modificări.

Concluzii

Lucrarea prezintă sistemul de teleconducere a rețelelor electrice de distribuție propus a se realiza la IRE Sudeava.

Pentru realizarea sistemului se utilizează în exclusivitate echipamente fabricate în țară.

Se propune realizarea unui sistem de teleconducere modern, economic, fiabil, cu performanțe ridicate și care se poate implementa pe structuri de rețea și organizatorice diferite.

Sistemul, fiind comparabil din punct de vedere al costurilor cu sistemele clasice, prezintă în plus facilitățile tehnicii de calcul, respectiv conducerea optimală a proceselor.

Sistemul permite implementarea la nivelul stației de transformare a funcțiilor de protecții și automatizări (un sistem de automatizare integrat), care are ca efect reducerea costurilor stațiilor de transformare (echipamente și lucrări de construcții-montaj) și, de asemenea, ușurarea activității de întreținere-exploatare.

Bibliografie

[1] * * * *Studiu privind optimizarea nivelului de automatizare și telemecanizare în stațiile electrice, precum și implicațiile în structura stațiilor.* ISPE, București, 1978.

[2] * * * *Structura și dotarea tehnică a conducerii operative a instalațiilor energetice în etapa 1980—1985 și orientativ 1990.* Sinteză. ISPE, București, 1978.

[3] * * * * *Studiu privind teleconducerea instalațiilor electrice ale sistemului de distribuție a energiei electrice.* IRE Suceava, 1979.

[4] Fransua, Al. și col. *Protecția prin sistem microprocesor a unei stații de 110/20 kV Suceava.* A IV-a Sesiune de comunicări tehnico-științifice, IRE Suceava, 1980.

[5] * * * *Condiții tehnice pentru instalații de prelucrare automată a datelor în stații, cu încadrarea în structura generală de comandă.* ISPE, București, 1980.

[6] * * * *Sistemul teleinformațional al DEN, etapa 1975—1977 (SOFTWARE și APLICAȚIE ON-LINE).* ISPE București, 1975.

[7] Dodescu, Gh. ș.a. *Sisteme electronice de calcul și teleprelucrare.* Editura didactică și pedagogică, București, 1980.

[8] * * * *Cogelex, CGE-ALSTHOM : Téléconduite et gestion de réseaux, système* EPC. Lyon, 1978.

[9] Lozzarini, A. *Supervisory control and data acquisition systems for electric networks.* Telettra, Milano — — 1979.

[10] * * * Siemens. *Network automation system 300.* Konstanz, 1978.

Posibilităţi de realizare a transmisiei de date în condiţiile introducerii sistemelor de teleconducere cu calculatoare de proces. Prezentarea unor modele adecvate I.R.E. Suceava

Ing. Tr. Chiriac, Ing. L. Penciuc şi Ing. D. Duru
— IRE Suceava —

Întreprinderea de reţele electrice Suceava şi-a propus ca obiectiv important studierea posibilităţilor de aplicare a calculatoarelor de proces în instalaţiile electrice de distribuţie. În acest sens a elaborat „Studiul privind teleconducerea instalaţiilor electrice ale sistemului energetic de distribuţie", avizat de CIRE în 1979.

Rezultatele preocupărilor în această direcţie, în consens cu studiile elaborate de ISPE, ICEMENERG şi alţii, scot în evidenţă necesitatea şi oportunitatea utilizării calculatoarelor de proces în instalaţiile electrice de distribuţie.

Sistemul de teleconducere introdus în sistemul energetic impune în paralel existenţa unor sisteme de telecomunicaţii (echipamente şi canale de transmisie) care să asigure atît transmiterea informaţiilor de telemecanică, cît şi comunicările telefonice între dispecerii de distribuţie (DED) şi staţiile electrice de transformare.

La stabilirea configuraţiei sistemelor de transmisie trebuie să se ţină seama de condiţiile specifice privind amplasarea geografică a staţiilor de transformare, distanţele şi căile de acces, profilul staţiilor de care depinde volumul schimbului de informaţii, configuraţia reţelelor de energie electrică în cazul legăturilor în înaltă frecvenţă pe LEA, gradul actual de dezvoltare a reţelei de telecomunicaţii a fiecărei IRE.

Transmisiile de date între DED şi staţiile de transformare se pot face pe următoarele căi :

a) Circuite pe fir fizic (cablu aerian, cablu subteran)

Ele se pot realiza fie prin cabluri proprii ale IRE, fie prin circuite închiriate la PTT. Legă-

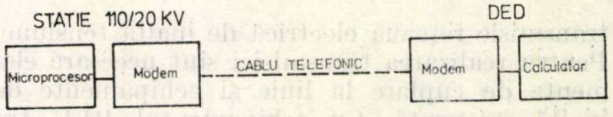


Fig. 1. Transmisie pe fir fizic.

turile în cablu propriu sînt eficiente din punct de vedere al siguranţei în funcţionare şi economice pentru distanţe scurte (tabelul 1).

Se face menţiunea că pentru utilizarea circuitelor PTT sînt necesare garanţii de disponibilitate şi securitate a transmisiei de date.

Tabelul 1

Avantaje şi dezavantaje ale diferitelor tipuri de legături de transmisii

Legături de transmisie	Avantaje	Dezavantaje
Circuite pe cablu subteran	Siguranţă în funcţionare mare Echipamente de transmisie simple pentru legături scurte Numărul de canale creşte odată cu mărirea numărului de cuarte	Cost foarte ridicat Costul creşte cu lungimea liniei Întreţinerea cablurilor este dificilă
Circuite pe cablu aerian	Echipamente de transmisie simple Întreţinerea cablurilor este simplă	Siguranţă în funcţionare scăzută pe timp de iarnă cînd vîntul şi chiciura rup firele Cost ridicat Costul creşte cu lungimea liniei Nivel de perturbaţii ridicat
Circuite de curenţi purtători (BLU) pe LEA	Siguranţă în funcţionare mare, avînd în vedere că suportul de transmisie este LEA Raza de acţiune este mare datorită pierderilor reduse pe LEA Numărul maxim de canale pe o LEA este de 10 canale/fază la o viteză telegrafică de 100 Bd Întreţinerea echipamentelor este simplă Costul nu creşte cu lungimea liniei	Cost ridicat Ruperea LEA întrerupe calea de transmisie tocmai pe perioada regimului anormal Posibilitatea apariţiei de perturbaţii cînd frecvenţele legăturilor ce converg spre acelaşi punct sînt apropiate
Căi radio	Costul cel mai scăzut Nu necesită suport fizic de transmisie Echipamente robuste Nivel de perturbaţii foarte scăzut odată cu creşterea frecvenţei Asigură un număr de canale foarte mare	Necesită un număr mare de frecvenţe Stabilirea legăturilor este posibilă numai în linie dreaptă Pe distanţe mai mari de 30 km sînt necesare retranslaţii Fabricarea în ţară este în fază de experiment

b) Circuitele de curenţi purtători pe liniile de energie electrică

Acest tip de legături este specific instalaţiilor energetice, întrucît utilizează ca suport de

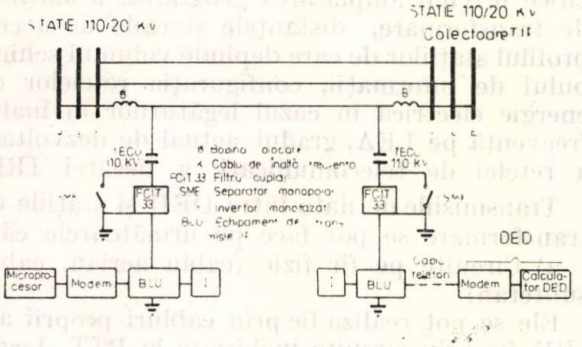


Fig. 2. Transmisie IF pe LEA.

transmisie reţeaua electrică de înaltă tensiune. Pentru realizarea transmisiei sînt necesare elemente de cuplare la linie şi echipamente de înaltă frecvenţă. Cu echipamentul BLU tip ICEMENERG se pot realiza transmisii în ambele sensuri, cu o capacitate de maximum zece canale de telemecanică de 100 Bd, dacă se utilizează şi banda vocală. Prin utilizarea de punţi TIF se pot cupla în înaltă frecvenţă staţii situate la distanţe mari.

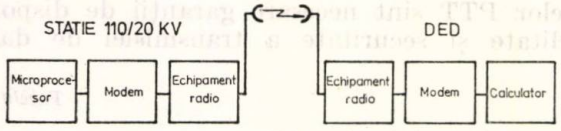


Fig. 3. Transmisie radio.

c) Căi radio (unde hertziene)

Sînt legături larg utilizate astăzi în lume, datorită avantajelor pe care le prezintă (tabelul 1). În urma analizei avantajelor şi dezavantajelor diferitelor tipuri de legături de transmisii (tabelul 1), ca şi a valorilor comparative (tabelul 2), se pot trage o serie de concluzii :

Din condiţiile specifice care apar la implementarea unui sistem într-o zonă de reţea a unei întreprinderi, rezultă necesitatea utilizării combinate a celor trei tipuri de căi de transmisie : calea radio şi calea de curenţi purtători pe LEA pentru legături lungi, iar în cazul legăturilor scurte în cadrul oraşelor rezultă avantajoase legăturile prin cabluri proprii sau închiriate.

Pentru realizarea unui sistem de transmisii optim din punct de vedere economic, precum şi a siguranţei în funcţionare, se impune utilizarea în mare măsură a legăturilor prin radio.

Se remarcă faptul că transmisia prin unde hertziene este mai economică de cel puţin 5 ori decît cea prin cablu subteran şi de 2 ori decît prin curenţi purtători pe LEA, în cazul unei legături lungi. Utilizarea circuitelor radio pentru transmiterea de date la noi în ţară este încă în fază de experiment. Pentru transmisiile de telemecanică în sistemul energetic, ICEMENERG a proiectat un echipament de radio EMU-1 pe frecvenţe foarte înalte (1359,9 MHz şi 1389,15 MHz), care se vor produce pentru seria zero în 1981.

Echipamentul permite transmisii la distanţă pînă la 30 km în condiţii de vizibilitate directă, avînd capacitatea de transmisie de 11 canale telegrafice de 100 Bd.

Exploatarea staţiilor electrice prin sisteme de teleconducere pe bază de calculator impune utilizarea de căi de comunicaţii rezervate cu posibilitatea trecerii automate pe calea de rezervă în cazul defectării căii principale.

Pentru analiza sistemelor de transmisie se vor trata în continuare exemple concrete de aplicare la sistemul IRE Suceava.

Justeţea deciziilor operative luate de dispecer depinde în mare măsură de cantitatea şi calitatea informaţiilor referitoare la regimul de funcţionare a sistemului energetic.

Pentru exemplificare s-a considerat o staţie telemecanizată de profil mediu, în care volumul schimbului maxim de informaţii este de :

1) Telesemnalizări permanente şi de avarii	350
2) Telemăsuri permanente	7
3) Telemăsuri la cerere	33
4) Telecomenzi	184
5) Telecontorizări la cerere	16

Tabelul 2

Valoarea comparativă a diferitelor căi de transmisie a semnalelor de telemecanică

Tipul legăturii / Distanţa (km)	1	5	10	30	60
	mii lei	mii lei	mii lei	mii lei	mii lei
Cablu subteran de 4 cuarte şi diametru de 1,2 mm	58	290	580	1740	3480
Cablu aerian pe stîlp de 10 circuite cu diametru de 0,5 m	28,5	142,5	285	855	1710
Circuite închiriate de la PTT (10 ani)	60	300	600	1800	3600
Transmisie pe LEA cu BLU	650	650	650	650	650
Echipamente de radiocomunicaţii pe frecvenţe foarte înalte (tip EMU-1 ICEMENERG)	300	300	300	300	600

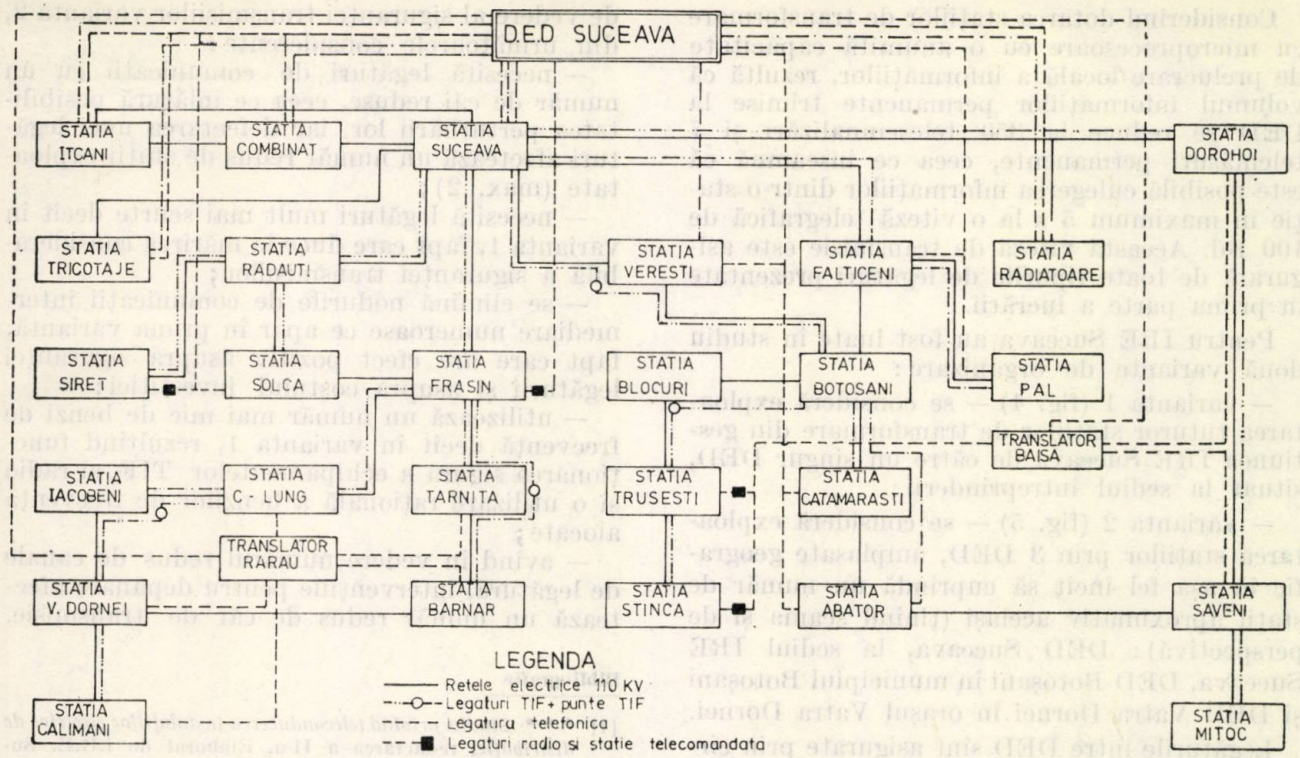

D.E.D SUCEAVA
STATIA ITCANI
STATIA COMBINAT
STATIA SUCEAVA
STATIA DOROHOI
STATIA TRICOTAJE
STATIA RADAUTI
STATIA VERESTI
STATIA FALTICENI
STATIA RADIATOARE
STATIA SIRET
STATIA SOLCA
STATIA FRASIN
STATIA BLOCURI
STATIA BOTOSANI
STATIA PAL
TRANSLATOR BAISA
STATIA IACOBENI
STATIA C - LUNG
STATIA TARNITA
STATIA TRUSESTI
STATIA CATAMARASTI
TRANSLATOR RARAU
STATIA V. DORNEI
STATIA BARNAR
STATIA STINCA
STATIA ABATOR
STATIA SAVENI
STATIA CALIMANI
STATIA MITOC
LEGENDA
Retele electrice 110 KV
Legaturi TIF+ punte TIF
Legatura telefonica
Legaturi radio si statie telecomandata

Fig. 4

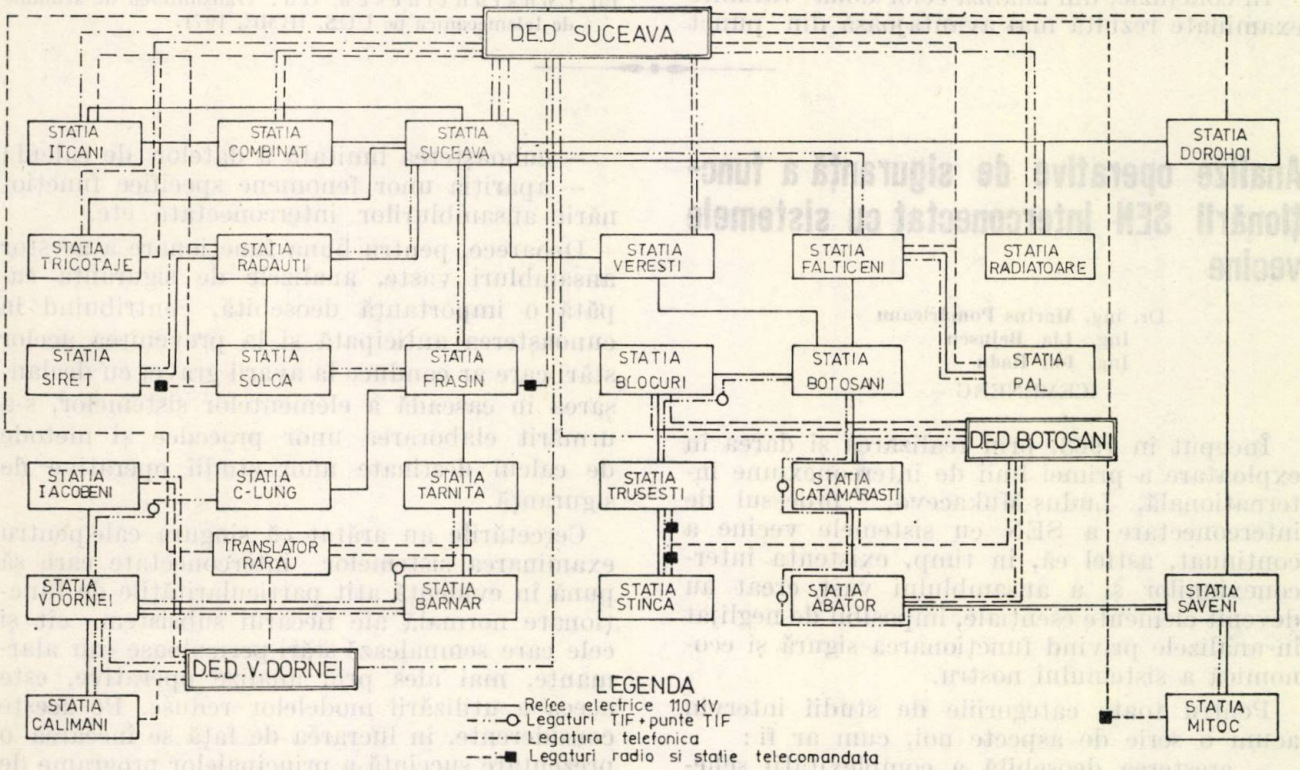

D.E.D SUCEAVA
STATIA ITCANI
STATIA COMBINAT
STATIA SUCEAVA
STATIA DOROHOI
STATIA TRICOTAJE
STATIA RADAUTI
STATIA VERESTI
STATIA FALTICENI
STATIA RADIATOARE
STATIA SIRET
STATIA SOLCA
STATIA FRASIN
STATIA BLOCURI
STATIA BOTOSANI
STATIA PAL
D.E.D BOTOSANI
STATIA IACOBENI
STATIA C-LUNG
STATIA TARNITA
STATIA TRUSESTI
STATIA CATAMARASTI
TRANSLATOR RARAU
STATIA VDORNEI
STATIA BARNAR
STATIA STINCA
STATIA ABATOR
STATIA SAVENI
D.E.D. V. DORNEI
STATIA CALIMANI
STATIA MITOC
LEGENDA
Retele electrice 110 KV
Legaturi TIF+punte TIF
Legatura telefonica
Legaturi radio si statie telecomandata

Fig. 5

Considerînd dotarea stațiilor de transformare cu microprocesoare cu o anumită capacitate de prelucrare locală a informațiilor, rezultă că volumul informațiilor permanente trimise la DED se reduce la 350 telesemnalizări și 7 telemăsuri permanente, ceea ce înseamnă că este posibilă culegerea informațiilor dintr-o stație în maximum 5 s la o viteză telegrafică de 100 Bd. Această viteză de transmisie este asigurată de toate tipurile de legături prezentate în prima parte a lucrării.

Pentru IRE Suceava au fost luate în studiu două variante de organizare:

— varianta 1 (fig. 4) — se consideră exploatarea tuturor stațiilor de transformare din gestiunea IRE Suceava de către un singur DED, situat la sediul întreprinderii;

— varianta 2 (fig. 5) — se consideră exploatarea stațiilor prin 3 DED, amplasate geografic în așa fel încît să cuprindă un număr de stații aproximativ același (ținînd seama și de perspectivă): DED Suceava, la sediul IRE Suceava, DED Botoșani în municipiul Botoșani și DED Vatra Dornei în orașul Vatra Dornei.

Legăturile între DED sînt asigurate prin circuite fizice: DED Suceava — DED Vatra Dornei și DED Suceava — DED Botoșani. Rezervarea legăturilor între DED se realizează prin legătură radio directă pentru DED Suceava — DED Botoșani și, respectiv, prin translator pentru DED Suceava — DED Vatra Dornei.

În concluzie, din analiza celor două variante examinate rezultă mai avantajoasă din punct de vedere al siguranței transmisiilor varianta 2, din următoarele considerente:

— necesită legături de comunicații cu un număr de căi reduse, ceea ce înlătură posibilitatea perturbării lor, iar defectarea unei legături afectează un număr redus de stații exploatate (max. 2);

— necesită legături mult mai scurte decît în varianta 1, fapt care duce la mărirea considerabilă a siguranței transmisiilor;

— se elimină nodurile de comunicații intermediare numeroase ce apar în prima variantă, fapt care are efect pozitiv asupra siguranței legăturii și asupra costului investiției;

— utilizează un număr mai mic de benzi de frecvență decît în varianta 1, rezultînd funcționarea sigură a echipamentelor TIF și radio și o utilizare rațională a benzilor de frecvență alocate;

— avînd în vedere numărul redus de canale de legătură, intervențiile pentru depanare afectează un număr redus de căi de transmisie.

Bibliografie

[1] * * * *Studiu privind teleconducerea instalațiilor electrice de distribuție*, redactarea a II-a. Elaborat de I.R.E. Suceava, 1979.

[2] * * * *Rețea de radiocomunicații pentru I.R.E. Suceava.* Studiu elaborat de I.C.P.T.Tc., 1979.

[3] * * * *Caiet de sarcini privind echipamentul de radiocomunicații pe frecvențe foarte înalte pentru transmisii de telemecanică EMU — 1*, elaborat de ICEMENERG, 1979.

[4] * * * *Téléconduite et géstion de réseaux*— CGEE Alsthom, Documentație de firmă, referat DB 20001.

[5] Constantinescu, Gh. Transmiterea de semnale de telemecanică pe UUS. IRME, 1971.

Analize operative de siguranță a funcționării SEN interconectat cu sistemele vecine

Dr. ing. **Marius Pomârleanu**
Ing. **Lia Bejuscu**
Ing. **Ion Radu**
— ICEMENERG —

Început în 1963, prin realizarea și darea în exploatare a primei linii de interconexiune internațională, Luduș-Mukacevo, procesul de interconectare a SEN cu sistemele vecine a continuat, astfel că, în timp, existența interconexiunilor și a ansamblului vast creat au devenit elemente esențiale, imposibil de neglijat în analizele privind funcționarea sigură și economică a sistemului nostru.

Pentru toate categoriile de studii intervin acum o serie de aspecte noi, cum ar fi:

— creșterea deosebită a complexității schemelor;

— cunoașterea limitată a datelor de calcul;

— apariția unor fenomene specifice funcționării ansamblurilor interconectate etc.

Deoarece, pentru buna funcționare a acestor ansambluri vaste, analizele de siguranță capătă o importanță deosebită, contribuind la cunoașterea anticipată și la prevenirea acelor stări care ar conduce la avarii grave, cu declanșarea în cascadă a elementelor sistemelor, s-a urmărit elaborarea unor procedee și metode de calcul destinate unor studii operative de siguranță.

Cercetările au arătat că singura cale pentru examinarea sistemelor interconectate care să pună în evidență atît particularitățile de funcționare normală ale fiecărui subsistem, cît și cele care semnalează stări periculoase sau alarmante, mai ales prin analize operative, este aceea a utilizării modelelor reduse. Pe aceste considerente, în lucrarea de față se încearcă o prezentare succintă a principalelor programe de calcul destinate reducerii rețelelor, precum și

efectuării unor analize operative de siguranță a funcționării SEN interconectat cu sistemele vecine.

1. Echivalenții REI-Dimo — modele generalizate pentru analize de siguranță a funcționării sistemelor interconectate

Pentru efectuarea analizelor necesare în studiile de siguranță, se impune mai întîi construirea unui model de calcul care să prezinte o serie de calități, cum ar fi [1]:

— să permită o reducere prealabilă a dimensiunilor rețelei, astfel încît să se poată utiliza datele sintetice globale disponibile asupra sistemelor interconectate cu SEN;

— echivalările făcute să conserve bilanțurile de puteri în toate nodurile;

— să asigure corectitudinea rezultatelor în stări diferite de regimul de bază;

— să asigure obținerea soluțiilor în orice condiții impuse de stările „grele" simulate;

— să evidențieze operativ regimurile instabile;

— să permită elaborarea unor programe unitare care să solicite într-o măsură cît mai redusă intervenția operatorului;

— să reducă simțitor durata calculelor.

Pornind de la aceste cerințe impuse, pe baza studiilor și a experienței de la noi din țară [1], [2], precum și a unor rezultate obținute pe plan mondial [3], [4], s-a constatat că în aceste analize este indicată utilizarea modelelor echivalente de tip REI-Dimo construite pe principiul rețelei auxiliare de bilanț energetic nul [5]. Acești echivalenți de sistem au următoarele proprietăți esențiale:

— prezintă o natură identică cu rețeaua reală datorită procedeului utilizării rețelei auxiliare de bilanț energetic nul, care folosește liniarizarea sarcinilor doar la transformarea schemei, cu deliniarizarea lor în final;

— rețeaua auxiliară cu bilanț energetic nul menține balanța puterilor și valoarea pierderilor de circulație în model, identice cu cele din rețeaua reală;

— această proprietate se păstrează pentru orice regim în care curenții înlocuiți respectă aceeași lege de variație cu o aproximație permisă;

— se pot construi noduri echivalente (fictive) pentru orice număr de noduri, amplasate oricum în rețea, cu condiția ca natura lor să fie aceeași;

— în afară de regimul de referință pentru care s-a construit modelul, acesta se poate utiliza și pentru alte regimuri, cu condiția ca reducerile să fi respectat cu o aproximație suficientă restricțiile privind construirea nodurilor fictive.

Construirea unor astfel de modele se face automat, cu ajutorul programului de calcul TIRESI, care poate opera cu rețele inițiale de dimensiuni maxime: 1060 noduri, 1465 legături, reducîndu-le după necesități.

Gradul de detaliere a modelului este legat totdeauna de specificul studiului care urmează și de compromisul dintre precizia care se dorește pentru rezultatele calculelor și durata ce și-o poate admite utilizatorul.

2. Analize de stabilitate statică

Modificările care au avut loc în ultimii ani în structura sistemului nostru energetic, precum și perspectiva dezvoltării lui în anii următori indică o serie de tendințe cu urmări asupra funcționării sigure a ansamblului, cum ar fi:

— extinderea rețelei de interconexiune;

— concentrarea în zona de sud-vest a țării a unor puternice centre producătoare și necesitatea transportului la distanțe relativ mari a unor puteri importante;

— instalarea unor grupuri de foarte mare putere cu caracteristici speciale etc.

Datorită acestor particularități există condiții pentru dezvoltarea unor avarii extinse de sistem în regimuri cauzate de o reducere a rezervei de stabilitate statică. Devine deci deosebit de utilă verificarea acestei rezerve prin studii speciale de stabilitate statică pentru situații ca:

— funcționarea SEN în regimuri post-avarie pe zone extinse;

— stări critice survenite în cazul funcționării unor centrale în anumite regimuri impuse;

— oscilații neamortizate de putere în unele regimuri apropiate de starea limită etc.

Studiul stabilității statice, înrăutățirea treptată a regimurilor și verificarea condițiilor de funcționare stabilă pentru un ansamblu vast ridică probleme serioase privind timpul de calcul și posibilitățile de urmărire a rezultatelor.

Echivalenții de tip REI-Dimo se pot însă folosi în acest tip de calcule cu bune rezultate [6], eliminînd aceste neajunsuri. S-a elaborat un program de calcul care are la bază un algoritm ce urmărește rezolvarea unitară a celor două probleme incluse într-un studiu de stabilitate statică: înrăutățirea treptată a regimului și verificarea îndeplinirii condițiilor de funcționare static stabilă în scopul determinării distanței la care se găsesc aceste regimuri de cel mai apropiat regim limită. Ca metodă de verificare a stabilității s-a ales metoda criteriilor practice, iar pentru aprecierea rezervei, înrăutățirea treptată a regimului și verificarea stabilității după fiecare pas pînă la schimbarea semnului criteriului practic ales [7].

Ca posibilități de înrăutățire a regimului inițial, în program s-au avut în vedere următoarele:

a) creșterea puterii active consumate într-un nod (sau în mai multe noduri);

b) creşterea sarcinii reactive într-un nod oarecare;

c) variaţia puterii active debitate de una sau mai multe centrale;

d) dezexcitarea unui grup generator (sau a mai multor generatoare);

e) creşterea sarcinii active şi reactive consumate în toate nodurile schemei simultan.

Regimul-limită de funcţionare static stabilă atins în urma degradării stării iniţiale, pe una dintre căile descrise mai sus, este pus în evidenţă prin schimbarea semnului valorii termenului diagonal al determinantului sistemului de ecuaţii liniare care descriu fenomenul. Acest program de stabilitate statică, denumit STABREI, permite efectuarea unor studii pe scheme cu dimensiuni maxime de 500 noduri, 1000 legături, 100 generatoare.

A fost elaborat şi un procedeu operativ de apreciere a stabilităţii globale (stabilitatea sistemului la o înrăutăţire-standard a regimului: creşterea sarcinii totale cu preluarea ei de către toate generatoarele din schemă, proporţional cu puterile lor nominale). Acesta constă în construirea automată a imaginii nodale pentru echivalentul cu sarcină unică al schemei studiate şi punerea în evidenţă a unghiului dintre fazorii curentului de scurtcircuit rezultant în sarcină şi în gol [8]. Cercetările au arătat că în regimul-limită poziţia celor doi vectori pe imaginea nodală este la 45°; orice valoare obţinută se raportează la acest unghi critic, rezultînd concluzii pentru semnalarea operativă a zonei regimurilor periculoase din punctul de vedere al funcţionării static stabile a unor sisteme complexe [9].

3. Studiul contingenţelor

Prin „contingenţe" se definesc deconectări de laturi în reţeaua studiată sau modificări în componenţa generatoarelor cu repercusiunile lor asupra stării staţionare a ansamblului analizat. Principial, prin studiul lor se urmăreşte cunoaşterea anticipată a unor situaţii posibile rezultate în urma unor avarii, în scopul selectării stărilor care ar deveni periculoase pentru funcţionarea sistemului analizat, şi se asigură astfel premisele stabilirii unor măsuri eficiente pentru preîntîmpinarea sau înlăturarea lor rapidă.

Noile situaţii sînt stări finale ale sistemului, regimuri staţionare, „grele", stabilite în urma modificărilor menţionate în sens defavorabil funcţionării, stări care cel mai adesea nu pot fi obţinute prin calcule obişnuite de regimuri staţionare.

Pe lîngă aceste stări trebuie cunoscute şi efectele ulterioare (acţionări ale protecţiilor, declanşări în cascadă), sînt necesare verificări ale rezervei de stabilitate statică şi se impune o înlănţuire automată a unor succesiuni de astfel de evenimente, cu selectarea numai a informaţiilor direct utile.

Toate acestea au fost rezolvate în cadrul unui program specializat denumit SARPREI. El are ca obiectiv calculul off-line al unei succesiuni de regimuri staţionare posibile în urma unor „incidente iniţiale" prestabilite (de tipul: deconectare linie sau ATR), analiza lor şi selectarea celor periculoase [10].

Pentru unificarea procedurilor de calcul şi asigurarea unor soluţii convergente pentru orice regimuri rezultate, s-a utilizat o metodă bazată pe principiul superpoziţiei, care presupune determinarea variaţiei regimului nou faţă de cel iniţial în urma modificării locale impuse în noua situaţie. Calculul regimului rezultat în urma deconectării unui element de reţea se face prin suprapunerea peste regimul iniţial cunoscut a rezultatelor calculului de regim în care date nodale sînt doar injecţiile de puteri luate cu semn schimbat în nodurile elementului care se deconectează. După obţinerea noului regim se trece la verificarea stării sistemului în noua situaţie, şi această succesiune se respectă pentru fiecare deconectare propusă într-un „scenariu general", care cuprinde toate „incidentele iniţiale" considerate a fi util de analizat pentru schema dată.

Fiecare încheiere a procesului de analiză a succesiunii de evenimente produse este urmată, dacă sînt depăşiri ale limitelor pentru tensiuni sau curenţi, de testarea stabilităţii statice a ansamblului.

Programul SARPREI este dimensionat pentru operare pe modele de tip REI cu maximum 400 noduri, 1000 legături, 50 de legături care se pot deconecta şi altele 200 care se pot controla.

4. Calculul oscilaţiilor lente de putere pe liniile de interconexiune ale SEN

Fenomen dinamic nou, specific funcţionării unor sisteme puternice, interconectate prin legături relativ slabe, fenomenul oscilaţiilor lente ale puterii transportate pe liniile de interconexiune a fost pus în evidenţă şi în cadrul SEN, printr-un ansamblu de cercetări teoretice şi experimentale desfăşurate în perioada 1976—1978 la ICEMENERG [11]. S-a arătat, cu această ocazie, posibilitatea amorsării pe liniile de interconexiune ale SEN a unor oscilaţii de putere cu perioada 3—5 secunde, care pot perturba funcţionarea normală a sistemului. Pentru analiza acestor fenomene dinamice cu caracteristici particulare, au fost elaborate un model de calcul şi un program automat.

Modelul este un echivalent de tip REI în care se păstrează cu adevărata identitate liniile de interconexiune dintre sisteme şi o serie de noduri importante din apropierea lor. Restul schemei date se reduce la cîteva noduri

REI, realizîndu-se astfel modele simple, cu un număr redus de noduri și legături.

Metoda de calcul utilizează o variantă de integrare cu anticipare-corectare de tip Adams-Bashforth. Ea asigură evaluarea erorii de trunchiere și o rapiditate suficient de ridicată, ceea ce are ca rezultat evitarea oscilării soluției și reducerea timpului total de calcul, elemente absolut necesare pentru calculele dinamice în care fenomenul prezintă o perioadă mare de oscilație, iar timpul necesar pentru urmărirea lui este relativ lung. Utilizînd o serie de procedee originale care asigură scurtarea duratei totale de calcul și o precizie bună a rezultatelor, metoda adoptată a stat la baza unui algoritm ce realizează succesiv următoarele etape:

— aplicarea perturbației (creșterea sau descreșterea cu o valoare dată a puterii consumate într-un nod sau deconectarea unei linii de interconexiune) în rețeaua al cărei regim inițial se cunoaște;

— determinarea noului regim al rețelei;

— calculul regimului tranzitoriu (pe baza dezechilibrelor apărute);

— reluarea, cu determinarea noului regim, pînă cînd timpul total de integrare atinge valoarea propusă.

Programul elaborat, denumit DINAMREI, permite studiul acestor fenomene pe scheme cu următoarele dimensiuni maxime: 30 de linii de interconexiune, 50 de generatoare, 100 de sarcini neliniare și 400 de legături.

Concluzii

Datorită aspectelor multiple pe care le prezintă problema siguranței funcționării SEN și implicațiile ei deosebite în întreaga economie, analizele de siguranță constituie în prezent un obiectiv major al activității Dispecerului energetic național. Pentru rezolvarea lui în condiții optime, s-a urmărit și dotarea cu un instrument de calcul unitar, complex și operativ, materializat printr-un pachet de programe, utilizat off-line, în care au fost incluse și cele prezentate în lucrarea de față. Destinate studiilor de siguranță a funcționării SEN, aflat în interconexiune cu sistemele electroenergetice vecine, analizele care se efectuează cu ajutorul lor permit stabilirea unor stări periculoase posibil de atins în exploatarea curentă, pentru o gamă foarte largă de situații, și oferă posibilitatea cunoașterii, selectării și evitării acelora care ar putea genera avarii de sistem.

Bibliografie

[1] Dimo, P., Pomârleanu, M., Bejuscu, L., Radu, I. și Sîrbu, M. *Utilizarea echivalenților REI la studiul sistemelor vaste interconectate.* În: Energetiva 24, nr. 4, 1976, p. 109—115.

[2] Dimo, P., Pomârleanu, M., Bejuscu, L., Radu I. și Sîrbu, M. *Research concerning general use of reduced REI models in the power system analysis.* În: Rev. Roum. Sci. Techn. — Elctrotechn. et Energ., 21, nr. 3, 1976, p. 321—328.

[3] Dy Liaco, T. E., Săvulescu, S. C. și Ramarao, K. A. *An on-line topological equivalent of a power system.* IEEE Summer Meeting, Mexico, 1977.

[4] Dopazo, J. F., Irisarri, G. și Sasson, A. M. *Real-time external system equivalent for on-line contingency analysis.* IEEE Summer Meeting, Los Angeles, 1978.

[5] Dimo, P. *Le réseau à „bilan énergétique nul" dans la formation des équivalents REI.* În: Rev. Roum. Sci. Techn. — Electrotechn. et Energ., 19, nr. 3, 1974, p. 221—227.

[6] Pomârleanu M., Bejuscu, L. și Făinaru, B. *Utilizarea unor rețele succesiv reduse pentru studii de stabilitate statică în sisteme electroenergetice complexe.* În: Energetica, 24, nr. 3, 1976, p. 94—97.

[7] Arie, E., Pomârleanu, M., Bejuscu, L. și Botgros, M. *Determinarea rezervei de stabilitate statică a sistemelor electroenergetice complexe.* În: St. cerc. energ. electr., 23, nr. 3, 1973, p. 709—727.

[8] Dimo, P. *Analiza nodală a sistemelor electroenergetice.* Editura Academiei R.S.R., București, 1968.

[9] Dimo, P., Pomârleanu, M. și Bejuscu, L. *Indicator sintetic al stabilității statice a sistemului electroenergetic.* Generalizarea experienței de exploatare, 134, 1977.

[10] Pomârleanu, M., Bejuscu, L. și Radu, I. *Studiul contingențelor cu ajutorul echivalenților REI.* Sesiunea de comunicări tehnico-științifice ICEMENERG 1980.

[11] Pomârleanu, M., Bejuscu, L. și Radu, I. *Determinarea oscilațiilor lente de putere pe liniile de interconexiune ale sistemului energetic național.* Sesiunea de comunicări tehnico-științifice I. P. „Traian Vuia" Timișoara, 1979.

4 — c. 1121 — 27

Modelarea siguranței în funcționare a schemelor cu rezervare pasivă a echipamentului

Ing. M. Stein și matem. St. Diaconu
— ISPE —

1. Considerații generale

În prezent posibilitatea realizării unor instalații energetice cît mai economicoase, în condițiile conferirii nivelului de siguranță necesar, trebuie analizată în lumina unei conjuncturi deosebite, impuse de necesitatea obținerii unor importante economii de instalații și materiale.

Este cunoscut că unul dintre mijloacele eficiente care conduc la simplificarea și ieftinirea unor dispozitive tehnice constă în reducerea numărului de elemente de bază din schemele tehnologice și prevederea unor rezerve pasive în afara schemei sau în schemă, în ambele cazuri un anumit număr de rezerve fiind comun pentru rezervarea unui număr relativ mult mai mare de elemente de bază (active).

Deși problema rezervării reprezintă o problemă de optimizări tehnico-economice complexe, în lucrarea de față analiza eficienței rezervării pasive se va face, din motive de spațiu, numai din punct de vedere al indicatorilor de siguranță principali, și anume al numărului și duratelor de defect.

Așa cum rezultă dintr-o serie de lucrări elaborate în cadrul colectivului de siguranță din ISPE, precum și din [1], în analiza rezervării pasive se vor utiliza următoarele noțiuni:

— Probabilitatea ca rezerva să fie solicitată, P_{AR}:

$$P_{AR} = \int_0^\infty (1 - e^{-\nu \cdot t}) \cdot \mu \cdot e^{-\mu \cdot t} \cdot dt = \frac{\nu}{\nu + \mu} \qquad (1)$$

considerînd $G(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t}$ — funcția de distribuție a timpului de reparare, unde $\mu = 1/t_d$ este intensitatea de reparare (t_d — timpul mediu de reparare) și $I(t) = 1 - \exp(-\nu \cdot t)$ — funcția de distribuție a timpului de înlocuire, unde $\nu = 1/t_i$ este intensitatea de înlocuire (t_i — timpul mediu de înlocuire).

Din relația (1) rezultă că rezerva va fi solicitată numai atunci cînd se apreciază că timpul de înlocuire este mai mic decît timpul de reparare.

— Probabilitatea ca rezerva să nu fie solicitată, P_{NR}:

$$P_{NR} = 1 - P_{AR} = \frac{\mu}{\nu + \mu} \qquad (2)$$

— Durata medie pînă la eliminarea unui defect în condițiile rezervării pasive, t_{dr}:

$$t_{dr} = \frac{2}{\nu + \mu} \qquad (3)$$

— Intensitatea de restabilire în condițiile rezervării pasive, μ_r:

$$\mu_r = 1/t_{dr} \qquad (4)$$

Trebuie menționat că cele de mai sus sînt valabile în ipoteza că rezerva pasivă răspunde la solicitare cu o probabilitate $P_{RR} = 1$. În cazul în care probabilitatea de răspuns a rezervei la solicitare este $P_{RR} \neq 1$, timpul mediu de eliminare a unui defect în condițiile rezervării pasive este dat de relația:

$$t_{dr} = \frac{\nu \cdot (1 - P_{RR}) + \mu \cdot (1 + P_{RR})}{\mu \cdot (\nu + \mu)} \qquad (5)$$

Relațiile (1), (2), (3) și (5) au fost stabilite numai pentru una din ipotezele luate în considerație în [1] asupra tipului funcției de distribuție a timpului de înlocuire, și anume în ipoteza că aceasta este exponențială cu parametrul ν, deoarece scopul acestui material este numai de a exemplifica modul principial de tratare a acestor probleme.

— Probabilitatea de răspuns a rezervei la solicitare se calculează pe baza relației:

$$P_{RR} = 1 - \int_0^\infty (1 - e^{-N \cdot \lambda \cdot t}) \cdot m \cdot \mu \cdot e^{-m \cdot \mu \cdot t} \cdot dt = \frac{m \cdot \mu}{N \cdot \lambda + m \cdot \mu} \qquad (6)$$

unde

N este numărul de elemente active (de bază) din schemă;
m — numărul de rezerve pasive;
λ — intensitatea de defectare a fiecărui element (de bază sau de rezervă).

Trebuie subliniat faptul că relațiile de mai sus au fost stabilite avînd în vedere următoarele premise:

— în momentul defectării unui element de bază, rezerva va fi apelată numai în cazul în care se apreciază că durata reparației este mai mare decît durata înlocuirii;

— în situația în care rezerva este solicitată (deci cînd s-a apreciat că reparația elementului activ defect ar dura mai mult decît înlocuirea lui prin elementul de rezervă), iar aceasta este indisponibilă (în curs de reparație datorită defectării ei în urma unei solicitări anterioare), fapt ce determină trecerea la repararea elementului de bază ce s-a defectat, repararea acestuia va fi continuată pînă la eliminarea defectului, chiar dacă între timp elementul de rezervă aflat și el în reparație devine disponibil (s-a reparat).

2. Exemple

Pe baza celor arătate în cap. 1 vor fi abordate în continuare două exemple simple, care vor ilustra efectul rezervării pasive asupra duratelor de indisponibilitate ale unor instalații electrice.

2.1. Exemplul 1

Fie o platformă industrială alimentată prin 8 stații de racord adînc 110/6 kV, fiecare dintre ele fiind echipată cu cîte un transformator de 110/6 kV, 25 MVA, avînd următorii parametri de siguranță :

$$\lambda = 0{,}057 \times 10^{-4}\ (h^{-1})$$

$$\mu = 32{,}460 \times 10^{-4}\ (h^{-1})$$

În ipoteza simplificatoare că celelalte aparate din schemă (transformatoare de măsură, separatoare etc.) nu au o influență semnificativă asupra siguranței în funcționarea stațiilor, rezultă :

— în cazul în care nu se prevede nici o rezervă pasivă, durata medie pînă la eliminarea unui defect (deci durata medie a unei întreruperi în alimentarea consumatorilor) va fi :

$$t_{def} = 1/\mu = 308\ h$$

— în cazul în care se prevede o singură rezervă pasivă, avînd aceleași caracteristici ca elementul de bază, deci în cazul în care $N = 8$, $m = 1$, și considerînd că timpul mediu de înlocuire este $t_i = 12$ h (deci $\nu = 833 \times 10^{-4}\ h^{-1}$), conform relațiilor (6) și (5) obținem :

$$P_{RR} = \frac{1 \times 32{,}46}{8 \times 0{,}057 + 1 \times 32{,}46} = 0{,}9862$$

și

$$t_{def} = t_{dr} = \frac{833 \times (1 - 0{,}9862) + 32{,}46 \times (1 + 0{,}9862)}{32{,}46 \times (32{,}46 + 833) \times 10^{-4}}\ h = 27h$$

Rezultă, din cele de mai sus, reducerea considerabilă a duratei medii a unei întreruperi a oricăruia din cele opt transformatoare prin utilizarea unei rezerve pasive.

Dacă transformatorul aflat în rezervă pasivă ar fi instalat pe o platformă mobilă și astfel pregătit încît durata medie de punere a lui în funcțiune (t_i) să nu depășească, să spunem, 3 h ($\nu = 3333 \times 10^{-4}\ h^{-1}$), atunci, pe baza acelorași relații, rezultă :

$$t_{def} = t_{dr} = 10\ h$$

Să presupunem în continuare că timpul critic în întreruperea unui consumator, la a cărui depășire s-ar produce pierderi importante, proporționale cu durata întreruperii, este de 3 h. În acest caz, în conformitate cu PE 013/1979, numărul mediu de defecte, într-un interval de timp T, a cărui durată depășește timpul critic (t_{cr}), este dat de relația :

$$M(\nu(T))_{cr} = M(\nu(T)) \cdot N \cdot e^{-\frac{t_{cr}}{t_{def}}} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \cdot \lambda \cdot T \cdot N \cdot e^{-\frac{t_{cr}}{t_{def}}}$$

unde $M(\nu(T))$ este numărul mediu total de defecte în intervalul T.

Considerînd $T = 10$ ani $= 87600$ h, se obține :

$$M(\nu(T))_{cr} = 2{,}95 \text{ defecte în 10 ani}$$

Rezultă că pe perioada de timp $T = 10$ ani durata medie totală a defectelor a căror durată depășește $t_{cr} = 3$ h este, în cazul rezervării pasive considerate, $M(\nu(T))_{cr} \times t_{def} = 29{,}5h$

În cazul absenței rezervei pasive :

$$M(\nu(T))_{cr} = M(\nu(T)) \cdot N \cdot e^{-\frac{t_{cr}}{t_d}} = 3{,}95 \text{ defecte în 10 ani.}$$

Rezultă în continuare că pe perioada de timp considerată, $T = 10$ ani, durata medie totală a defectelor a căror durată depășește $t_{cr} = 3$ h este, în cazul absenței rezervei pasive, $M(\nu(T))_{cr} \times t_d = 1217$ h.

Se constată imediat avantajul cu totul deosebit oferit de rezervarea pasivă în acest caz.

Într-un caz real, în care costul rezervelor este pus în balanță cu reducerea daunelor obținută la consumatori, calculele de mai sus pot fi continuate analizîndu-se și posibilitatea prevederii a două echipamente de rezervă.

Astfel, pentru exemplul considerat, prevăzîndu-se două transformatoare de rezervă pentru cele opt de bază (deci $m = 2$), pe baza relației (6), rezultă :

$$P_{RR} = \frac{2 \times 32{,}46}{8 \times 0{,}057 + 2 \times 32{,}46} = 0{,}9983$$

Cu această valoare, considerînd $t_i = 3$ h, pe baza relației (5) rezultă :

$$t_{def} = t_{dr} = 6{,}5\ h$$

Se observă reducerea considerabilă a duratei medii a unei întreruperi (cu toate că, aparent, sub aspectul lui P_{RR}, efectul celei de-a doua rezerve este redus) în acest caz, evident cu toate consecințele economice ce pot rezulta din aceasta și care pot fi de natură a compensa costul rezervei pasive suplimentare.

Trebuie însă remarcat faptul că eficiența unor rezerve suplimentare scade destul de repede odată cu creșterea numărului acestora, probabilitatea de răspuns a rezervei P_{RR} prezentînd fenomene de saturație cu atît mai rapide cu cît fiabilitatea elementelor este mai ridicată.

Din exemplul simplu analizat rezultă că, fie pe anumite platforme industriale, fie pentru alimentarea unor consumatori urbani sau rurali, trebuie avute în vedere și soluțiile cu rezervări pasive, în special cu rezerve pasive pe platforme mobile, de intervenție rapidă, care, în cazul cînd există și un anumit nivel de rezervare la nivelul tensiunii inferioare a stațiilor, constituie un mijloc eficient de simplificare a instalațiilor și deci de economii.

2.2. Exemplul 2

Relațiile de calcul prezentate în cap. 1, precum și cele menționate în [1] pot servi și pentru determinarea unor indicatori de siguranță pentru anumite tipuri de subansambluri din scheme tehnologice care sînt rezervate semipasiv (rezerve montate în schemă).

Pentru exemplificare se propune analiza siguranței unei celule de linie de 110 kV în prezența și în absența cuplei de transfer, presupunîndu-se că această cuplă deservește un număr de 20 de celule. Schema celulei este dată în figura 1.

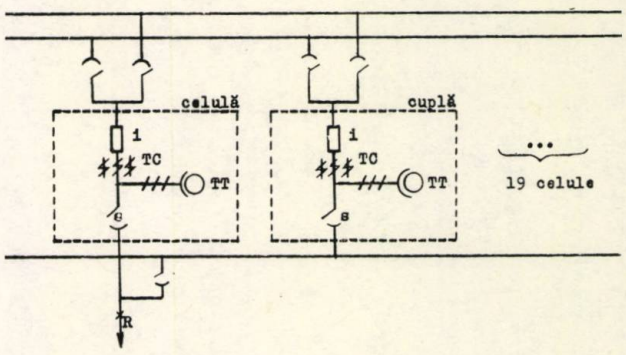


Fig. 1

Utilizîndu-se parametrii de siguranţă daţi în PE 013/ 79, schema celulei poate fi echivalată cu un singur element, avînd parametrii de siguranţă :

$$\lambda_e = \lambda_i + \lambda_s + 3 \cdot \lambda_{TT} + 3 \cdot \lambda_{TC}$$

$$\mu_e = \frac{\lambda_e}{\frac{\lambda_i}{\mu_i} + \frac{\lambda_s}{\mu_s} + 3 \cdot \frac{\lambda_{TT}}{\mu_{TT}} + 3 \cdot \frac{\lambda_{TC}}{\mu_{TC}}}$$

Înlocuind :

$\lambda_i = 0{,}1438 \times 10^{-4}\ h^{-1}$; $\mu_i = 287{,}066 \times 10^{-4}\ h^{-1}$

$\lambda_s = 0{,}0085 \times 10^{-4}\ h^{-1}$; $\mu_s = 476{,}19 \times 10^{-4}\ h^{-1}$

$\lambda_{TT} = 0{,}0105 \times 10^{-4}\ h^{-1}$ $\mu_{TT} = 68{,}90 \times 10^{-4}\ h^{-1}$

$\lambda_{TC} = 0{,}0044 \times 10^{-4}\ h^{-1}$ $\mu_{TC} = 151{,}15 \times 10^{-4}\ h^{-1}$

rezultă :

$$\lambda_e = 0{,}197 \times 10^{-4}\ h^{-1}; \quad \mu_e = 185{,}273 \times 10^{-4}\ h^{-1}$$

Cupla de transfer avînd practic aceeaşi schemă ca celula va avea aceiaşi parametri de siguranţă, λ_e, μ_e.

Să considerăm că durata unei manevre necesare înlocuirii unei celule defecte prin cupla de transfer este, în medie, egală cu 0,5 h (deci $t_i = 0{,}5$ h, iar $\nu = 1/t_i = 20\,000 \times 10^{-4}\ h^{-1}$).

— În cazul *absenţei cuplei de transfer* (*absenţa rezervei*), durata medie pînă la eliminarea unui defect al elementului echivalent cuplei va fi :

$$t_{def} = 1/\mu_e = 53{,}974 \text{ h}$$

— În cazul *prezenţei cuplei de transfer* (*prezenţa rezervei*) se obţine :

$$P_{RR} = \frac{1 \times \mu_e}{20 \times \lambda_e + 1 \times \mu_e} = 0{,}9792$$

şi ca urmare :

$$t_{def} = t_{dr} = 2{,}093 \text{ h}$$

Rezultă din cele de mai sus că o cuplă de transfer pentru un număr de *20* de celule afectează în mod considerabil eficienţa, datorită reducerii probabilităţii ei de răspuns, P_{RR}. Acest lucru poate fi demonstrat prin faptul că în cazul unui $P_{RR} \approx 1$ (prevederea unei cuple de transfer pentru un număr mai redus de celule) $t_{def} = t_{dr} \approx 1$ h, deci cu 50% mai mic decît cel precedent.

În consecinţă, se vede că prin asemenea calcule se pot aprecia condiţiile de funcţionare a diferitelor tipuri de scheme tehnologice, obţinîndu-se informaţii utile atît pentru proiectarea cît şi pentru exploatarea lor. Astfel, de exemplu, în cazul analizat mai sus, fără o analiză de tipul celei făcute, s-ar putea trage concluzia, la prima vedere, că durata medie a unei întreruperi a unei celule este egală cu durata medie a manevrei, adică 0,5 h. Această concluzie nu este desigur adevărată, putînd conduce în unele cazuri la luarea unor decizii greşite.

Concluzii

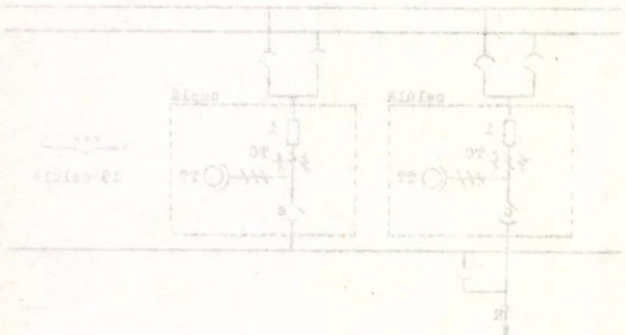
1. Lucrarea prezintă, din lipsă de spaţiu, numai unele aspecte generale privind principiile de optimizare a rezervării pasive sau semipasive şi are ca scop atragerea atenţiei asupra posibilităţilor pe care o tratare atentă a aspectelor legate de rezervare le poate oferi atît în concepţia, cît şi în exploatarea şi întreţinerea instalaţiilor electrice.

2. Pentru analizarea şi stabilirea soluţiilor celor mai favorabile în vederea ieftinirii şi simplificării instalaţiilor energetice în general şi a instalaţiilor de distribuţie şi transport în particular, se pretează foarte bine modelarea matematică cu ajutorul calculelor probabilistice a necesarului de rezerve pasive sau semipasive şi a stocurilor de piese de schimb sau de uzură.

3 Există în prezent în I.S.P.E. modele matematice care, în afara aspectelor cantitative privind numărul echipamentelor sau pieselor de rezervă sau de schimb, pot stabili strategii optimizate de organizare a intervenţiilor în caz de avarie, inclusiv de repartizare în teritoriu a depozitelor de echipamente şi materiale de rezervă.

Bibliografie

[1] Stein, M. şi Diaconu, St. Unele aspecte specifice în analiza rezervării echipamentelor energetice cu ajutorul calculului statistico-probabilistic. În: Energetica 28, nr. 5— 6, 1980.



Prevenirea avariilor în cascadă la liniile de înaltă tensiune

Dr. ing. **Paul Militaru**
— ISPE —

Fenomenul de avarie în cascadă la liniile aeriene de înaltă tensiune înseamnă prăbuşirea progresivă a stîlpilor unei porţiuni de linie, ca urmare a căderii unui stîlp sau a ruperii unui conductor, şi se datoreşte rezistenţei insuficiente a stîlpilor la sarcini longitudinale. Acest fenomen este cunoscut şi la alte construcţii, unde cedarea unui singur element al structurii poate provoca distrugerea întregii structuri.

În ultimul deceniu avariile în cascadă au constituit obiectul atenţiei speciale din partea proiectanţilor şi constructorilor de linii aeriene din lume, rezultatele studiilor întreprinse fiind publicate sub formă de articole şi comunicate la diferite conferinţe internaţionale. Comitetul de studii 22 CIGRE a înscris această problemă pe ordinea de zi a sesiunilor generale din 1976 şi 1978 de la Paris [1], [2], [3], [4].

Intensificarea în ultimii ani a preocupărilor privind prevenirea avariilor în cascadă se explică prin faptul că au avut loc în unele ţări cîteva avarii în cascadă la liniile electrice aeriene. Unele linii de înaltă, foarte înaltă şi ultraînaltă tensiune străbat regiuni cu populaţie densă, acoperă distanţe foarte mari şi transportă cantităţi importante de energie electrică pentru centre industriale şi urbane. O avarie în cascadă de amploare are în aceste cazuri urmări economice şi sociale grave: pierderi financiare reprezentînd valoarea construcţiilor distruse, la care se adaugă cele datorate energiei electrice nelivrate şi cele provocate de întreruperea alimentării cu energie electrică a industriilor şi localităţilor, ca şi perturbaţii în viaţa şi activitatea populaţiei.

În cele ce urmează se prezintă unele avarii în cascadă care au avut loc în diferite ţări ale lumii, aşa cum rezultă din literatura tehnică, reglementările tehnice privind dimensionarea liniilor în vederea evitării avariilor în cascadă, situaţia din ţara noastră, măsurile de prevenire a acestor avarii în lume şi în ţara noastră şi se trag concluzii pentru proiectarea, construcţia şi exploatarea liniilor de înaltă şi foarte înaltă tensiune.

1. *Avarii în cascadă în diferite ţări ale lumii şi în ţara noastră*

1.1. Avaria în cascadă pe 50 km de linie în Danemarca [1]. În 1977 o porţiune de circa 50 km, cuprinzînd 167 stîlpi, a unei linii cu simplu circuit de 150 kV, care se întindea de la Esbjerg, de pe coasta vestică a peninsulei Iutlanda, la Kolding, pe coasta de est, s-a prăbuşit în cîteva minute (fig. 1).

Linia era echipată cu trei conductoare de fază de oţel-aluminiu de 277 mm² şi cu două conductoare de protecţie de 95 mm² oţel. Stîlpii

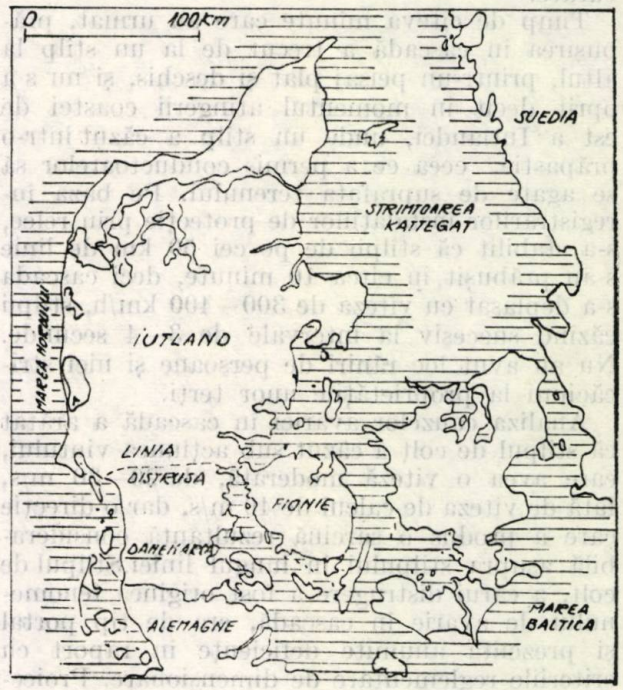


Fig. 1. Traseul liniei de 150 kV din Danemarca, care a suferit o avarie în cascadă pe 50 km.

metalici tip Y aveau înălţimea între 17 şi 23 m, deschideri între 220 şi 380 m şi o deschidere echivalentă de 330 m (fig. 2).

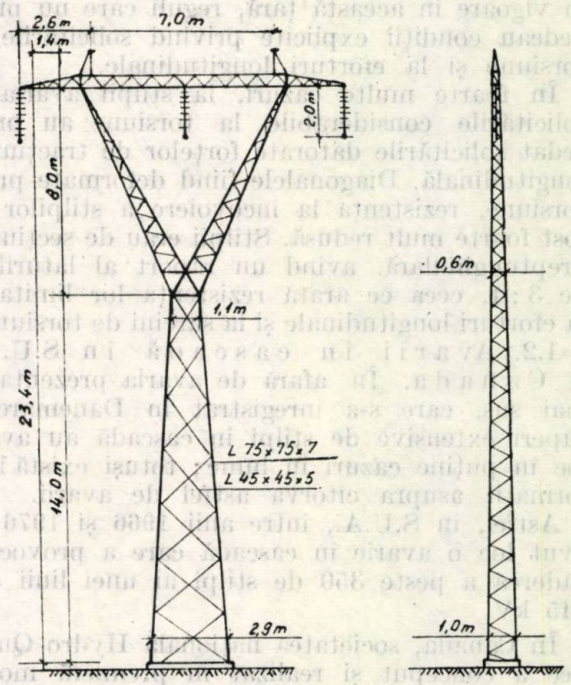


Fig. 2. Stîlp de susţinere al liniei de 150 kV din Danemarca, care a suferit o avarie în cascadă pe 50 km.

Cascada a început în jurul orei 10 dimineaţa prin prăbuşirea unui stîlp de colţ de 30°, aproape de capătul liniei de la Marea Nordului. Prăbuşirea stîlpului a provocat smulgerea din cleme a conductoarelor active din deschiderile alăturate.

Timp de cîteva minute care au urmat, prăbuşirea în cascadă a trecut de la un stîlp la altul, printr-un peisaj plat şi deschis, şi nu s-a oprit decît în momentul atingerii coastei de est a Iutlandei, unde un stîlp a căzut într-o prăpastie, ceea ce a permis conductoarelor să se agaţe de suprafaţa terenului. Pe baza înregistrărilor instalaţiilor de protecţie prin relee, s-a stabilit că stîlpii de pe cei 50 km de linie s-au prăbuşit în circa 10 minute, deci cascada s-a deplasat cu viteza de 300—400 km/h, stîlpii căzînd succesiv la intervale de 3—4 secunde. Nu au avut loc răniri de persoane şi nici stricăciuni la proprietăţile unor terţi.

Analiza cauzelor avariei în cascadă a arătat că stîlpul de colţ a căzut sub acţiunea vîntului, care avea o viteză moderată, de 20—30 m/s, faţă de viteza de calcul de 40 m/s, dar o direcţie care a produs o sarcină rezultantă considerabilă asupra stîlpului în lungul liniei.Stîlpul de colţ, a cărui distrugere a fost originea fenomenului de avarie în cascadă, era de tip portal şi prezenta anumite deficienţe în raport cu criteriile reglementare de dimensionare. Proiectul liniei a fost deci elaborat într-o concepţie de bază care ar fi condus, într-o zi sau alta, la un astfel de accident.

Stîlpii liniei erau de o construcţie foarte uşoară în raport cu practica normală daneză de construcţie a liniilor, dar respectau regulile tehnice în vigoare în această ţară, reguli care nu prevedeau condiţii explicite privind solicitările la torsiune şi la eforturi longitudinale.

În foarte multe cazuri, la stîlpii avariaţi, solicitările considerabile la torsiune au precedat solicitările datorate forţelor de tracţiune longitudinală. Diagonalele fiind deformate prin torsiune, rezistenţa la încovoiere a stîlpilor a fost foarte mult redusă. Stîlpii erau de secţiune dreptunghiulară, avînd un raport al laturilor de 3 : 1, ceea ce arată rezistenţa lor limitată la eforturi longitudinale şi la sarcini de torsiune.

1.2. Avarii în cascadă în S.U.A. şi Canada. În afară de avaria prezentată mai sus, care s-a înregistrat în Danemarca, ruperi extensive de stîlpi în cascadă au avut loc în puţine cazuri în lume; totuşi există informaţii asupra cîtorva astfel de avarii.

Astfel, în S.U.A., între anii 1966 şi 1976 a avut loc o avarie în cascadă care a provocat căderea a peste 350 de stîlpi ai unei linii de 345 kV.

În Canada, societatea naţională Hydro-Québec a conceput şi realizat în premieră mondială o reţea de 735 kV pentru a transporta energia electrică de la centralele hidroelectrice de pe fluviul Churchill la marile centre urbane şi industriale Québec şi Montreal. În 1965 a fost pusă în funcţiune prima linie de 735 kV, iar în 1974 existau în serviciu 4830 km (3 linii între centralele Churchill şi Manicouagan, 5 linii între Manicouagan şi Québec, 4 linii între Québec şi Montreal). În noiembrie 1969, în cursul construcţiei celei de-a treia linii între Manicouagan şi Montreal, sarcini excesive de ghiaţă pe conductoare au provocat dărîmarea în cascadă a 29 de stîlpi ai liniei. Ca urmare a acestei avarii, traseul liniei a fost modificat în porţiunea avariată pentru a se evita zona foarte expusă la condiţii meteorologice defavorabile [5], [6], [7].

1.3. Avarii în cascadă în Franţa. În Franţa, utilizarea clemelor de susţinere cu alunecare controlată şi dimensionarea stîlpilor de susţinere, pentru solicitări în lungul liniei, numai la forţa de alunecare din clemă corespunzătoare unui singur conductor rupt, au permis evitarea unor avarii în cascadă extensive şi limitarea ruperilor numai la cîţiva stîlpi. Dintre aceste avarii pot fi citate [3]:

a) În 1949, un stîlp de colţ de 40°, amplasat pe un munte înalt şi suportînd o deschidere foarte denivelată, a fost doborît de o avalanşă. Două din cele trei conductoare au fost rupte; conductoarele au alunecat în clemele mai multor stîlpi de susţinere, astfel că un singur stîlp a suferit deformarea unei console.

b) În 1964, ca urmare a ruperii capului unui stîlp montat într-un unghi de 50° al unei linii de 400 kV din regiunea pariziană, deteriorările au putut fi limitate la patru stîlpi, datorită alunecărilor celor şase conductoare în clemele lor.

c) În 1971, la o linie de 400 kV din regiunea Creusot s-au înregistrat depuneri intense de chiciură, care au atins pe conductoarele de fază 15 kg pe metru lungime, o suprasarcină de 4 ori mai mare decît valoarea de calcul. Ruperea unui fascicol a fost frînată prin alunecarea conductoarelor în clemele a cinci stîlpi succesivi, astfel că numai doi stîlpi au fost rupţi. Alunecarea a avut loc deşi clemele erau acoperite de ghiaţă.

d) În 1974 un avion a lovit două din cele şase fascicole, cu două conductoare pe fază, ale unei linii de 400 kV cu dublu circuit. Cei doi stîlpi de susţinere alăturaţi deschiderii lovite au fost distruşi şi au fost înlocuiţi în întregime, fiind necesară în plus înlocuirea cîtorva elemente ale celor doi stîlpi de susţinere următori.

1.4. Avarii în cascadă în ţara noastră. În ţara noastră, avarii extensive în cascadă au avut loc numai la liniile de medie tensiune, de 15 şi 20 kV, între anii 1950 şi 1965, în partea de sud-est a ţării. Ruperi masive de stîlpi în lungul liniei prin fenomenul în cascadă s-au înregistrat la linii montate pe ti-

puri de stîlpi de susținere din beton armat vibrat, de secțiune dreptunghiulară, nedimensionați la sarcini în lungul liniei, rezistența longitudinală a acestor stîlpi rezultînd numai din considerente constructive. La liniile de 15 și 20 kV montate pe stîlpi de beton armat centrifugat nu au avut loc ruperi de stîlpi în lungul liniei, deoarece aceste tipuri constructive de stîlpi prezentau aceeași rezistență la sarcini longitudinale ca și la sarcini transversale. Prescripțiile românești de construcție a liniilor ediția 1952 prevedeau că la liniile cu conductoare fixate pe izolatoare-suport prin legături de sîrmă (chei), stîlpii de susținere nu se calculează la sarcini longitudinale, considerîndu-se deci implicit că la tracțiuni unilaterale ale conductoarelor stîlpii nu sînt solicitați, deoarece cedează legăturile de sîrmă. Edițiile ulterioare ale acestor prescripții au introdus condiția de rezistență în lungul liniei, iar reconstruirea liniilor de 15 și 20 kV pe stîlpi dimensionați corespunzător a condus la înlăturarea unor avarii extinse în cascadă.

Unele avarii la linii de 110 și 220 kV, cu ruperi de conductoare și stîlpi provocate de forțele vîntului pe conductoare și stîlpi, cu sau fără depuneri simultane de chiciură, au prezentat și extinderi în cascadă la 1—2 stîlpi următori porțiunii de linie avariate de către sarcinile transversale.

Astfel, linia de 110 kV Paroșeni—Bărbătești a fost scoasă din funcțiune în anul 1965, datorită unor suprasarcini excepționale pe porțiunea de munte a acestor linii: vînt cu viteza de 100 km/h, simultan cu depuneri de ghiață de 16 kg pe metru de conductor. În această linie s-au rupt cinci stîlpi de susținere, prin îndoirea de la bază în direcție transversală liniei; în același timp însă, avaria s-a extins în cascadă la doi stîlpi de întindere și colț, la care s-au îndoit consola și vîrfarul [8].

La linia de 220 kV Borzești—Galați, depuneri foarte intense de chiciură pe conductoare au provocat deformarea capului unui stîlp de întindere și colț.

O porțiune de linie de 110 kV din munții Lotrului, proiectată și construită în întregime pe stîlpi de întindere și colț, a fost supusă solicitărilor datorate unor depuneri puternice de chiciură, care au condus la avarierea liniei prin deformarea părților superioare ale stîlpilor, care nu erau dimensionate să reziste la forțele de tracțiune longitudinale foarte mari ale conductoarelor acoperite cu chiciură. Utilizarea de stîlpi de susținere cu lanțuri verticale de izolatoare, care prin înclinări succesive ar fi micșorat solicitările în lungul liniei la fiecare stîlp, ar fi condus în orice caz la reducerea proporțiilor avariei, prin micșorarea numărului de stîlpi rupți. O dovadă în plus că mărirea numărului de stîlpi de întindere și colț dintr-o linie determină, pe de o parte, creșterea cheltuielilor de investiție, iar pe de altă parte nu contribuie în unele situații la creșterea siguranței în funcționare a liniei.

O avarie la sarcini în lungul liniei a avut loc în luna aprilie 1980 pe linia de 220 kV cu dublu circuit Tîrgoviște—Pitești, echipată cu conductoare de oțel-aluminiu de 450 mm² secțiune nominală. Stîlpii de susținere din porțiunea avariată au fost dimensionați la sarcini transversale corespunzătoare următoarelor condiții meteorologice: viteza maximă a vîntului de 38 m/s, viteza vîntului simultan cu chiciura de 20 m/s, grosimea stratului de chiciură pe conductoare de 23 mm, densitatea chiciurii 0,9 kgf/dm³ și la o sarcină longitudinală de 735 kgf, în ipoteza ruperii unui conductor.

La acești stîlpi, conductoarele erau fixate la lanțuri de izolatoare prin cleme cu tracțiune limitată tip STIL 300/500, care să permită, la o strîngere corectă a buloanelor, o alunecare a conductorului în clemă la o sarcină mai mare de 500 kgf (fig. 3 și 4).

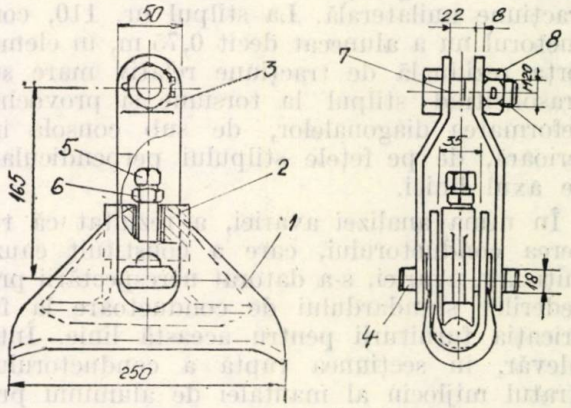


Fig. 3. Clemă de susținere cu tracțiune limitată tip Stil 300/500.
1 — corpul clemei; *2* — bac; *3* — braț; *4* — bolț-ax; *5* — bulon de strîngere; *6* — piuliță; *7* — bulon pentru prindere; *8* — piuliță; 9 — splint.

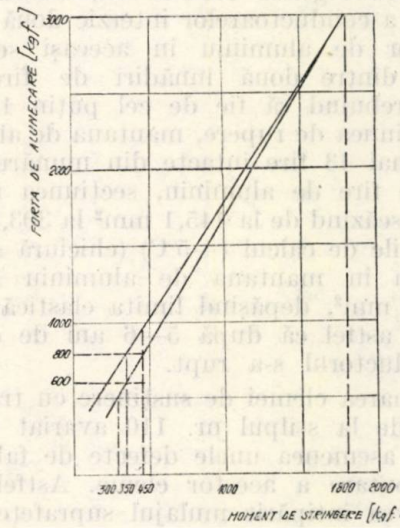


Fig. 4. Diagrama variației forței de alunecare în funcție de momentul de strîngere la clema de susținere cu tracțiune limitată (Stil 300/500).

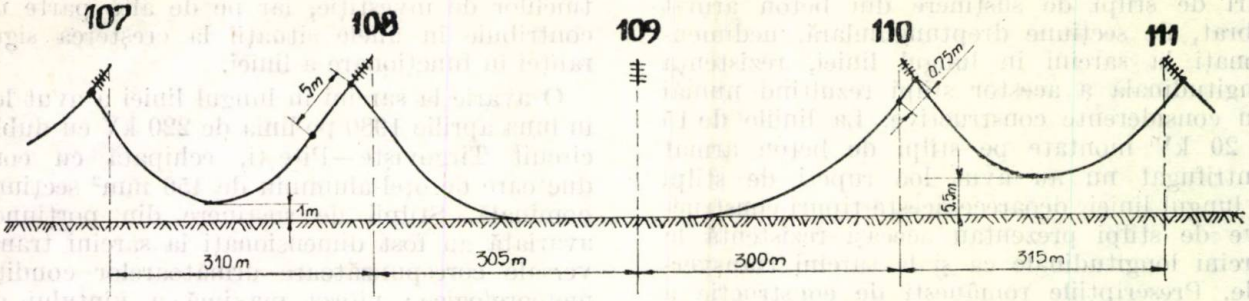


Fig. 5. Schema avariei de pe linia de 220 kV Tîrgoviște — Pitești. Deplasări ale conductorului în cleme: 5 m la stîlpul nr. 108 și 0,75 m la stîlpul nr. 110.

Avaria s-a produs, în condiții meteorologice moderate, la vînt cu viteză de 10—15 m/s, prin ruperea conductorului în clema de susținere a unei faze de pe consola mijlocie a stîlpului nr. 109. Ca urmare, conductorul a căzut la pămînt, deplasîndu-se spre stîlpii adiacenți nr. 108 și 110 (fig. 5). La stîlpul nr. 108, conductorul a alunecat circa 5 m din clemă, descărcînd stîlpul pînă la o forță relativ mică de tracțiune unilaterală. La stîlpul nr. 110, conductorul nu a alunecat decît 0,75 m, în clemă, forța reziduală de tracțiune relativ mare suprasolicitînd stîlpul la torsiune și provocînd deformarea diagonalelor, de sub consola inferioară, de pe fețele stîlpului perpendiculare pe axul liniei.

În urma analizei avariei, a rezultat că ruperea conductorului, care a constituit cauza inițială a avariei, s-a datorat nerespectării prevederilor standardului de conductoare la fabricația furniturii pentru această linie. Într-adevăr, în secțiunea ruptă a conductorului, stratul mijlociu al mantalei de aluminiu prezenta 20 fire de aluminiu tăiate teșit la 45°, pregătite deci pentru înnădirea prin sudare, fără ca sudurile să fi fost realizate. Se menționează că regulile tehnice standardizate de fabricare a conductoarelor interzic două suduri ale firelor de aluminiu în aceeași secțiune, distanța dintre două înnădiri de fire prin sudură trebuind să fie de cel puțin 16 m.

În secțiunea de rupere, mantaua de aluminiu avea numai 43 fire intacte din numărul total de 63 de fire de aluminiu, secțiunea reală a mantalei scăzînd de la 445,1 mm² la 303,8 mm². La sarcinile de calcul (—5°C) (chiciură și vînt) tracțiunea în mantaua de aluminiu atingea 12,67 kgf/mm², depășind limita elastică a aluminiului, astfel că după 5—6 ani de exploatare conductorul s-a rupt.

Examinarea clemei de susținere cu tracțiune limitată de la stîlpul nr. 110 avariat a semnalat de asemenea unele defecte de fabricație și de montare a acestor cleme. Astfel bacul clemei avea întipărit mulajul suprafeței exterioare a conductorului, arătînd astfel utilizarea unui aluminiu moale și o strîngere prea puternică a clemei pe conductor la montaj. Suprafețele interioare laterale ale bacului clemei nu erau netede, prezentînd asperități, ca dinții de fierăstrău, care au putut deteriora firele exterioare ale conductorului, conducînd astfel la o frînare și blocare a alunecării conductorului în clemă.

Din cele de mai sus rezultă că, pentru evitarea avariilor în cascadă, o importanță deosebită prezintă respectarea condițiilor tehnice din norme și fișe tehnologice la fabricarea și montarea clemelor de susținere cu tracțiune limitată. De altfel, fișa tehnologică pentru montarea conductoarelor și clemelor prevede ca strîngerea bulonului să se facă cu o cheie dinamometrică la momentul corespunzător forței de alunecare prescrise. Or, echipele de montare a clemelor nu sînt dotate cu astfel de ustensile și de cele mai multe ori strîngerea este mai puternică, ceea ce mărește valoarea forței de tracțiune, la care conductorul alunecă din clemă (fig. 4).

2. *Reglementări tehnice și măsuri pentru prevenirea avariilor în cascadă*

După avaria în cascadă din peninsula Iutlanda, în Danemarca s-a decis elaborarea unor propuneri de modificare a reglementărilor pentru instalații de energie electrică, în scopul eliminării pe viitor a riscului avariilor în cascadă. Noile reglementări daneze prescriu ca stîlpii de susținere să reziste cu un coeficient de siguranță față de rupere cel puțin egal cu 1, la sarcina statică rezultată din eliberarea tuturor conductoarelor de aceeași parte a stîlpului, impunîndu-se de asemenea condiții mai severe de dimensionare a stîlpilor la solicitări de torsiune. În această ipoteză de calcul nu se iau în considerare sarcini de vînt și/sau chiciură. Pentru determinarea sarcinilor datorate fenomenelor de avarie în cascadă, s-a conceput o metodă de calcul exactă, printr-un model matematic complex, programat pe calculator și verificat prin încercări mecanice la scară naturală, elaborîndu-se de asemenea o diagramă și un procedeu practic de calcul, la îndemîna proiectanților și constructorilor de linii. Atît reglementările daneze, cît și metoda de calcul concepută au fost stabilite admițînd

că efectele dinamice pot fi neglijate, ceea ce se consideră valabil pentru stîlpi autoportanți, care posedă o capacitate suficientă de absorbție de energie [1].

În Franța, pentru prevenirea avariilor în cascadă s-au adoptat ipoteze de calcul al stîlpilor de susținere corespunzătoare și se utilizează de peste 15 ani cleme de susținere cu alunecare controlată, care au înlocuit vechile cleme cu declanșare. Ipotezele de calcul al stîlpilor de susținere prevăd dimensionarea fie la sarcini nesimetrice de chiciură de o parte și de alta a stîlpului, fie la sarcina corespunzătoare ruperii unui conductor, la aceste sarcini impunîndu-se nedepășirea sarcinilor de rupere ale stîlpului [3].

Clemele de susținere cu alunecare controlată sînt reglate în Franța pentru o forță de alunecare imediat superioară forței longitudinale de calcul. Forțele de alunecare ale clemelor au valori normalizate cuprinse între 800 și 3000 daN.

Studii teoretice aprofundate și verificări experimentale au fost întreprinse pentru determinarea profilului și lungimii patului (corpului) clemei cu alunecare și a solicitărilor de tracțiune axială, compresiune radială și încovoiere la care este supus conductorul și pentru a mări precizia alunecării, care depinde de coeficienții de frecare și de toleranțele de fabricație pentru cleme și conductor. În orice caz, precizia forțelor reale de alunecare în raport cu valorile reglate nu poate fi mai bună de 15—20%.

Experiența de exploatare de peste 25 de ani a liniilor echipate cu cleme de susținere cu alunecare controlată a dat rezultate foarte bune, ruperi singulare de stîlpi neantrenînd căderi în cascadă. Alunecarea conductorului în clemă se oprește cînd diferența tracțiunilor de o parte și de alta a clemei devine mai mică decît forța reglată. Lungimea alunecării depinde de diferența de tracțiune aplicată clemei și de destinderea datorită înclinării lanțului, deci de lungimea lanțului. Alunecări ale conductoarelor active de 1—2 m s-au constatat în rețea la sarcini neuniforme de chiciură; la conductoarele de protecție, lungimea de alunecare este mult mai mare. În cazul ruperii unui conductor sau a unui stîlp, s-au constatat alunecări pînă la cîțiva zeci de metri pe stîlpii alăturați locului avariei, lungimea alunecării atenuîndu-se la stîlpii următori. În multe cazuri conductorul se deteriorează (ruperi de fire, formări de ghemuri), deteriorările fiind mult mai mici însă la conductoarele cu fire exterioare din almelec, material mai dur decît aluminiul. Dezavantajul înlocuirii unei anumite lungimi de conductor este apreciat de tehnicienii francezi în orice caz mai puțin grav decît căderea mai multor stîlpi, timpul de indisponibilitate fiind mai mic și costul reparației mult mai redus. Utilizarea clemelor de susținere cu alunecare controlată este considerată în Franța o soluție optimă tehnico-economic, ținînd seama că sarcinile longitudinale ale stîlpilor sînt mai mici decît în cazul utilizării clemelor blocate și că montarea clemelor cu alunecare permite să se evite necesitatea folosirii sistematice a unor stîlpi de întindere în aliniamente [3].

În raportul prezentat de Comitetul de studii nr. 22 — Linii aeriene, la sesiunea CIGRE din 1978, asupra limitării avariilor prin cascadă, în concepția liniilor aeriene de transport, se apreciază că în mod rațional scopul ce trebuie atins este limitarea avariei la unul sau doi stîlpi, cei mai apropiați, de o parte și de alta a locului avariei și asigurarea unei rezistențe longitudinale a stîlpului sau dezvoltarea de tehnici care să împiedice ruperea celui de-al treilea sau al patrulea stîlp. Stîlpii nu trebuie să fie calculați la forțele de rupere a conductoarelor la suprasarcini de chiciură. În regiunile cu chiciură intensă, conductoarele trebuie să fie elementele cele mai rezistente ale liniilor și să nu cedeze cele dintîi [4].

Metodele pentru limitarea avariilor în cascadă prezentate în raportul menționat [3] sînt: a) utilizarea de fuzibile mecanice, b) mărirea rezistenței longitudinale și rezistenței la torsiune, c) utilizarea stîlpilor de întindere.

Printre soluțiile cu fuzibile mecanice se pot cita clemele cu alunecare controlată, clemele cu declanșare și consolele rotitoare. Consolele rotitoare nu au pînă în prezent decît o utilizare restrînsă, datorită insuficientei experiențe de exploatare. Clemele cu declanșare nu sînt de recomandat, deoarece reducerea sarcinilor longitudinale se obține numai prin frecarea conductorului pe sol, iar clemele pot elibera conductorul pe mai multe deschideri, cu deteriorarea apreciabilă a conductoarelor și cu posibile pericole pentru public. Clemele cu tracțiune limitată sau cu alunecare controlată au căpătat o largă utilizare în diferite țări, și în țara noastră, cu bune rezultate de exploatare.

Mărirea rezistenței longitudinale și la torsiune a stîlpului se realizează în mod normal prin considerarea unei sarcini longitudinale (dată fie de un conductor activ sau de protecție) la liniile cu simplu circuit și a două astfel de sarcini la liniile cu dublu circuit. Pentru liniile cu conductoare fasciculare, trebuie considerate faze rupte. Sarcinile longitudinale se determină în funcție de tipurile de cleme de susținere utilizate [4].

Utilizarea stîlpilor de întindere este soluția cea mai veche folosită inițial la liniile pe stîlpi de lemn, care nu ofereau rezistență suficientă la sarcini longitudinale. Această soluție poate avea justificare la liniile utilizînd stîlpi de susținere semiflexibili, foarte ușori. Totuși, ruperea unui conductor sau a unui stîlp poate antrena prăbușirea în cascadă a tuturor stîlpilor de susținere pînă la stîlpul de întindere cel mai apro-

piat, sau pentru a se limita extinderea avariei trebuie să se prevadă stîlpi de întindere la distanţe scurte, ceea ce măreşte exagerat costul lucrării şi consumurile de materiale.

O anchetă a fost întreprinsă de acelaşi comitet de studii la 23 de societăţi de exploatare, care au construit linii de înaltă tensiune cu un singur circuit fără să utiiizeze soluţia stîlpilor de întindere sau soluţia fuzibilelor mecanice pentru evitarea efectelor de cascadă. Dintre societăţile menţionate, 21 posedă linii dimensionate la sarcina longitudinală a unei faze oarecare, avînd valoarea cuprinsă între 80 şi 130% din sarcina statică reziduală, şi nu au înregistrat ruperi în cascadă. Două societăţi, care au introdus la dimensionarea stîlpilor de susţinere o sarcină longitudinală pe fază de circa 33% din sarcina statică reziduală, au înregistrat avarii grave în cascadă [4].

În ţara noastră, pentru prevenirea avariilor în cascadă s-a adoptat soluţia utilizării clemelor cu tracţiune limitată şi în acelaşi timp dimensionarea stîlpilor de susţinere la sarcini longitudinale. În ipoteza de calcul al stîlpilor de susţinere la avarie, se prevede considerarea unor forţe longitudinale F, rezultate din considerarea unor conductoare rupte, astfel: o forţă F la fiecare circuit impar sau la fiecare pereche de circuite, sau o forţă F corespunzătoare unui singur conductor de protecţie [11]:

$$F = k_e \cdot d_c,$$

în care

k_e este coeficient care ţine seama de eliberarea conductorului din clemă la o anumită valoare a tracţiunii în conductor;
$k_e = 25$ pentru stîlpii liniilor electrice cu $U_n \leqslant 110$ kV;
$k_e = 50$ pentru stîlpii liniilor electrice cu $U_n > 110$ kV;
d_c — diametrul conductorului, mm.

Pentru conductorul de 450 mm² oţel-aluminiu, cu care sînt echipate liniile de 220 şi 400 kV, $F = 50 \times 29{,}25 = 1462{,}5$ kgf.

La stîlpii de susţinere tip turn de secţiune pătrată, rezistenţa longitudinală a stîlpilor este mărită faţă de cea rezultată din dimensionarea la forţa F de mai sus, ţinînd seama că ipoteza de calcul la sarcini transversale este mai grea.

Liniile de 110, 220 şi 400 kV din ţara noastră proiectate şi construite conform acestei concepţii nu au înregistrat avarii în cascadă. Avaria de la linia de 220 kV Tîrgovişte—Piteşti, la care s-au deformat consoiele unui singur stîlp alăturat locului ruperii conductorului, nu trebuie considerată ca avarie în cascadă, după criteriile Comitetului de studii CIGRE.

Concluzii şi propuneri

Prevederile normativului românesc pentru construcţia liniilor electrice aeriene în scopul prevenirii avariilor în cascadă corespund reglementărilor tehnice adoptate în majoritatea ţărilor lumii şi recomandate de Comitetul de studii nr. 22 — Linii aeriene — CIGRE.

Ipotezele de calcul al stîlpilor de susţinere iau în considerare utilizarea clemelor de susţinere cu tracţiune limitată, care permit o dimensionare economică a stîlpilor de susţinere şi care şi-au dovedit eficienţa în exploatare, atît în ţara noastră, cît şi peste hotare. Unele deficienţe de fabricaţie şi de montare a acestor cleme trebuie să fie înlăturate, pentru a mări precizia cu care se realizează în exploatare forţa de alunecare din clemă. O importanţă deosebită prezintă strîngerea bulonului clemei la momentul mecanic prescris, fiind necesară în acest fel folosirea de chei dinamometrice.

Utilizarea stîlpilor de susţinere cu cleme cu tracţiune limitată, în scopul prevenirii avariilor în cascadă, nu trebuie completată cu măsura creşterii numărului de stîlpi de întindere, care măreşte nejustificat costurile investiţiilor şi consumurile de materiale. Amplasarea stîlpilor de întindere trebuie limitată strict la cazurile prevăzute de normativul în vigoare pentru construcţia liniilor.

Bibliografie

[1] Frandsen, A. G. şi Iuul, P. H. *Phénomène d'effondrement en cascade. Critères de dimensionnement.* CIGRE, Rap. 22—10, 1976.

[2] White, H. B. *Raport special al Grupei 22 — Linii aeriene.* CIGRE, Rap. 22—00, 1976.

[3] Moreau, M., Rigoet, P. şi Dalle, B. *Conception des lignes aériennes en vue d'éviter les ruptures en cascade. Emploi des pinces de suspension à glissement contrôlé.* CIGRE, Rap. 22—08, 1978.

[4] White, H. B. *Contrôle des avaries par cascade dans la conception des lignes aériennes de transport.* CIGRE, Rap. 22—13, 1978.

[5] Crowley, V. F. şi White, H. B. *Rupture en cascade d'une ligne de 735 kV. La rupture des conducteurs en faisceaux.* CIGRE, 1970. Discussion Groupe 22.

[6] * * * *Tower failures of a 735 kV line — Churchill falls.* În: Electrical World, 8 dec. 1969 şi 1 febr. 1971.

[7] Lecomte, D. şi Meyere, P. *Evolution de la conception des lignes de transport d'énergie à 735 kV d'Hydro-Québec.* CIGRE, Rap. 22—08, 1980.

[8] Drăgan, G., Militaru, P. şi Petrescu, C. *Problema suprasarcinilor de chiciură pe liniile electrice aeriene din R.P.R. în lumina ultimelor observaţii şi avarii.* În: Energetica nr. 3, 1957.

[9] * * * *Notă tehnică privind avaria produsă pe linia de 220 kV Tîrgovişte — Piteşti în ziua de 23 aprilie 1980.* ISPE, mai 1980.

[10] * * * M.E.E. *Normativ pentru construcţia liniilor aeriene de energie electrică peste 1000 V.* PE 104—1971.

[11] * * M.E.E. *Normativ pentru construcţia liniilor aeriene de energie electrică peste 1000 V.* PE 104—1979.

Posibilităţi de modernizare a conducerii operative a staţiilor din reţeaua I.R.E. Iaşi

Conf. dr. ing. **D. Ivas**, ing. **N. Sufleţel**
Şef. lucr. ing. **Gh. Cirţină** — IRE Iaşi —
— IP Iaşi —

1. Probleme generale şi tendinţe noi

O reţea electrică cuprinde un număr însemnat de centre de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice. Deşi dispersate geografic, exploatarea acestora trebuie coordonată, fie pentru restabilirea unei situaţii normale după un incident (ceea ce antrenează manevre în diferite staţii), fie pentru exploatarea cît mai aproape de limitele tehnice admise şi ţinnd seama de optimul economic.

De asemenea, pentru creşterea eficienţei în alimentarea cu energie electrică a unităţilor economice, apare tot mai evidentă cibernetizarea complexă a instalaţiilor, atît cele ale consumatorilor (care privesc procesele tehnologice), cît şi ale furnizorului de energie electrică.

Necesitatea de coordonare a execuţiei manevrelor, găsirea celor mai bune condiţii de exploatare explică dezvoltarea rapidă din ultimii ani a instalaţiilor de telecomandă care permit centralizarea exploatării într-un număr redus de puncte de comandă. Această posibilitate a devenit realitate şi s-a extins datorită progreselor microelectronicii, care a revoluţionat tehnica de calcul, înlăturînd o serie de bariere referitoare la costuri, fiabilitate, complexitate etc. S-a ajuns astăzi ca un element de telecomandă să încorporeze material teleinformatic şi să constituie o reţea bazată pe interconexiunea mini- sau microcalculatoarelor [1].

Teleconducerea se efectuează de la punctul de comandă, *PC*, pe baza imaginii stării elementelor conduse a staţiei conduse, *PA*, imagine care este în măsură să permită deciderea manevrelor.

Aceste imperative impun trecerea treptată, dar rapidă la conducerea operativă automată a staţiilor de conexiuni şi de transformare, printr-o tehnică de calcul adecvată, organizată potrivit cerinţelor actuale de conducere a sistemului naţional. În acest sens este necesară reconsiderarea unora dintre concepţiile actuale în organizarea şi dotarea punctelor de conducere operativă : necesitatea teleconducerii unui număr din ce în ce mai mare de staţii, echiparea punctelor de comandă şi a celor comandate cu tehnică de calcul corespunzătoare şi un sistem de conexiuni adecvat.

Conducerea staţiilor prin calculator duce la modificări în echiparea acestora, în special din punct de vdere al circuitelor secundare. Se poate reduce numărul aparatelor de măsură, funcţia de supraveghere a diferitelor mărimi fiind preluată de instalaţiile de telecomandă.

Generalizarea totală a conducerii operative implică un volum mare pentru instalaţiile şi canalele de transmisie, precum şi pentru unitatea centrală de prelucrare. Căderea unităţii centrale presupune revenirea la modul clasic de conducere, lucru greu de realizat. În această privinţă trebuie urmărit un echilibru optim între conducerea centralizată şi autonomia staţiilor subordonate. Prin echiparea staţiilor cu mijloace de concentrare şi prelucrare locală a datelor sub formă de microprocesoare sau microcalculatoare de proces se descarcă atît canalele de transmisie, cît şi unitatea centrală, care preia proceduri de intrare, ieşire, transmitere şi prelucrare a datelor [7].

Introducerea justificată, pe scară largă, a tehnicii de calcul va permite o cunoaştere mai bună a reţelei, ceea ce va duce în final la creşterea fiabilităţii echipamentului şi a calităţii energiei electrice furnizate.

2. Conducerea cu calculatorul a întreprinderilor de transport şi distribuţie a energiei electrice

Dezvoltarea şi succesele obţinute de tehnica de calcul şi, în special, de cea a microprocesoarelor ridică problema unei penetraţii şi mai puternice a acestor mijloace în instalaţiile energetice. Se cunoaşte că introducerea unui calculator într-o staţie se justifică, după 1975, din motive de cost [6]. De atunci, diferenţa de preţuri dintre soluţiile de logică cablată şi cele de logică programată nu a făcut decît să crească în detrimentul primelor. În plus, puterea şi supleţea de implementare a unui mijloc de calcul permite să se conceapă echipamentul *PA* compatibil cu toate echipamentele *PC*.

Astfel, se pune problema introducerii tehnicii de calcul şi în staţiile de transformare şi în reţelele de MT. De altfel, acestea constituie veriga de legătură dintre partea de producere şi transport a sistemului electroenergetic, pe de o parte, şi consumatori, pe de altă parte, şi unii şi alţii beneficiari actuali sau viitori ai unei asistenţe substanţiale din partea sistemelor de calcul.

De asemenea, îmbunătăţirea în continuare a siguranţei în funcţionare a echipamentului SE şi a calităţii energiei electrice rezultă şi printr-o extindere a telecomenzilor şi în reţelele de MT, printr-o mai bună cunoaştere a stării acestora, graţie tocmai telecomenzii.

Variantele posibile de echipare cu tehnică de calcul a *PC* şi *PA* sînt date în figurile 1*a*, 1*b* şi 2. Soluţia cu calculator central unic şi canale de legătură directă cu toate *PA* (fig. 1*a*) este cea mai bună pentru cazul în care calcula-

torul preia un volum mic de sarcini (manevră, prelucrare, protocolare, supraveghere etc.).

Pentru sarcini superioare preluate de calculator (de exemplu comanda digitală directă) este recomandată arhitectura din figura 1 *b*.

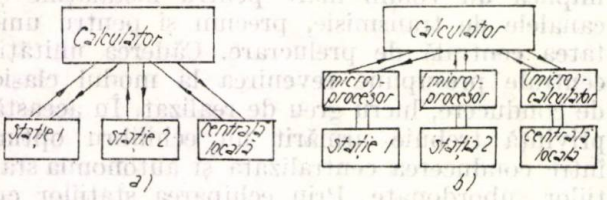


Fig. 1

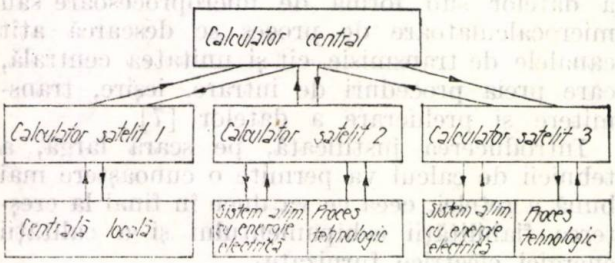


Fig. 2

Arhitectura din figura 2 corespunde cel mai bine cazului alimentării unor procese tehnologice complexe, cu grad înalt de automatizare, în care calculatorul-satelit preia atît funcții de comandă pentru procesul tehnologic, cît și pentru stațiile sistemului de alimentare cu energie electrică.

În alegerea soluției optime este necesar să se considere, cu ponderi diferite, pentru variantele considerate : costul tehnicii de calcul (inclusiv partea software), costul canalelor de transmisie a datelor, indicii economici ai calității energiei electrice furnizate, cerințele conducerii operative și de redondanță, dispoziția geografică, distanțele relative ale stațiilor etc.

Fără îndoială că prezența microprocesoarelor (sau a calculatoarelor) reduce volumul de date transmise calculatorului central prin canale și, deci, prelucrat de acesta.

Presupunem aceeași calitate a energiei electrice asigurată de asistarea sistemului de calcul. Dacă se notează volumul de date corespunzător unui PA cu x_i și se admit expresiile $(A_0 + A_1x_i + A_2K)$, $\left(C_0 + \frac{C_1x_i}{K}\right)$ și $\left(B_0 + B_1\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i}{K}\right)$ pentru costurile calculatorului-satelit, canalele de transmisie pentru punctul i și, respectiv, calculatorului central, atunci raportul optim dintre volumul informațiilor ce intră și ce ies din calculatorul-satelit $K = x_i/y_i$ se obține ca soluție a problemei de programare matematică

$$\min Z(K) = \min\left\{\sum_{i=1}^{n}(A_0 + A_1x_i + A_2K) + \sum_{i=1}^{n}\left(C_0 + \frac{Cx_i}{K}\right) + \left(B_0 + B_1\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i}{K}\right)\right\}$$

3. Probleme specifice municipiului Iași

Analiza de mai sus pune în evidență următoarele :

a) există două categorii de stații : trei principale și restul secundare;

b) pornind de la cele trei stații principale, se poate considera rețeaua ca formată din trei zone, mai mult sau mai puțin separate din punct de vedere al conducerii operative;

c) schemele stațiilor, în special ale celor secundare, sînt foarte diverse, atît din punct de vedere al conexiunilor la 110 kV și MT, cît și ca mod de racordare la sistem;

d) stațiile au funcțiuni foarte diverse în sistem (rol de distribuție, racord adînc, gestionate de consumator, idem tip urban sau mixt în subordinea IRE Iași);

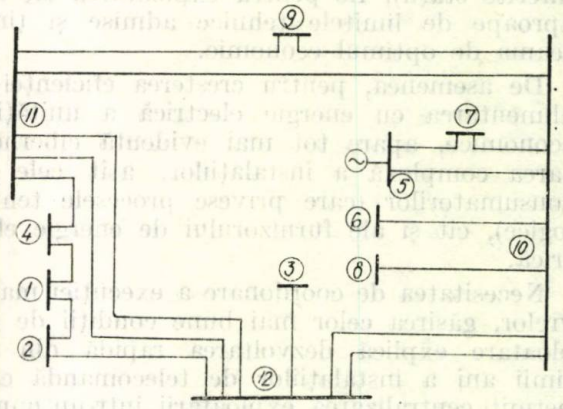


Fig. 3

e) unitățile economice sînt amplasate pe trei platforme industriale (Țuțora, FAI și CUG-Galata);

f) procesele tehnologice de la consumatori impun ca parametrii energiei electrice să se modifice în limite foarte mici față de cei nominali.

Din punct de vedere al conducerii operative rezultă :

— cu excepția celor trei stații principale, toate stațiile se alimentează din una sau maximum două surse;

— informațiile privind schemele de conexiuni, numărul de întrerupătoare și de separatoare se prezintă în tabelul 1;

Tabelul 1

	MT	110 kV	220 kV
BDS + BT	.....	2 stații	.....
BDN + BT	.....	1 „	.....
BDN	.....	3 „	.....
BSS	10 stații	3 „	.....
BDN	2 „	1 „	.....
SRA	.....	2 „	.....
BDS	2 stații	.....	.....
Nr. întrerupătoare/stație	9—23	4—23	2—6
Nr. separatoare/stație	13—168		

Tabelul 2

Staţia	Comenzi întrerupătoare				Comenzi separatoare				Semnalizare			Măsuri
U_n	220	110	MT	Total	220	110	MT	Total	Centr.	Poz.	Total	
1	—	4	26	30	—	17	57	74	51	30	81	80
2	—	4	23	27	—	16	32	48	64	34	98	54
3	—	2	15	17	—	14	24	38	52	21	73	29
4	—	4	17	21	—	20	4	24	49	29	78	42
5	—	11	—	11	—	34	—	34	98	7	105	18
6	—	2	3	5	—	9	35	44	23	4	27	10
7	—	4	12	16	—	18	2	20	84	24	108	30
8	—	1	13	14	—	4	9	13	15	2	17	3
9	—	4	11	15	—	13	24	37	33	10	43	19
10	—	23	26	49	—	38	45	143	—	102	102	164
11	8	17	22	47	30	79	59	168	—	139	139	155
12	—	11	7	18	—	32	9	41	140	42	182	21

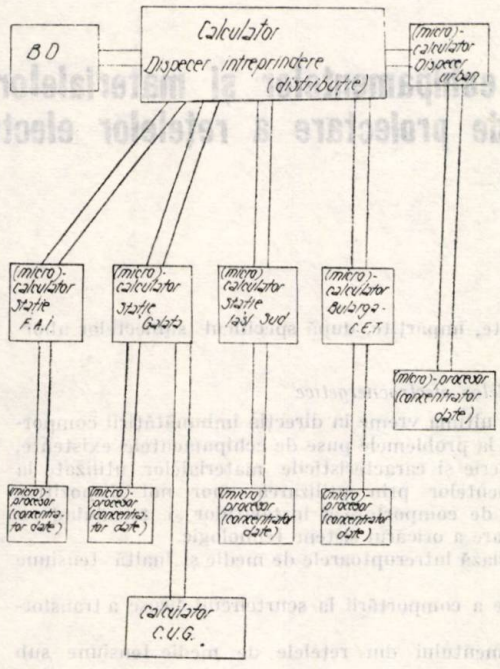


Fig. 4

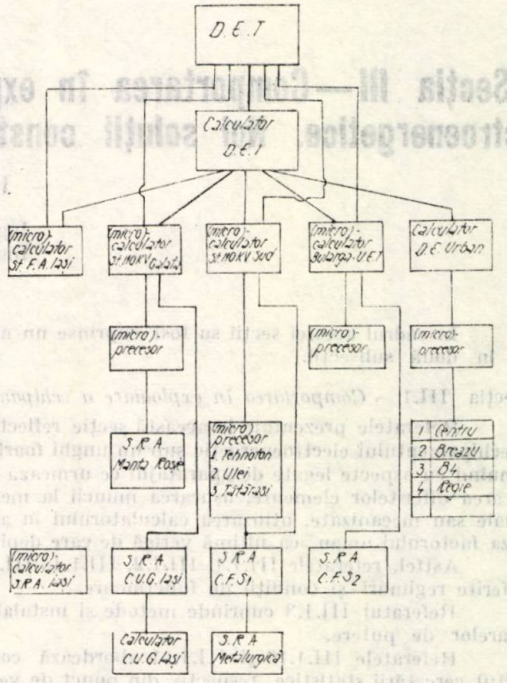


Fig. 5

— volumul de informaţii necesar pentru teleconducere este dat în tabelul 2.

Toate acestea conduc la o variantă posibilă pentru echiparea sistemului ierarhizat de conducere operativă cu calculatoare, ca cea din figura 4, care, încadrată la nivel de DT, este dată în figura 5.

Trecerea la această variantă se va face etapizat. Se va echipa în prima etapă cu tehnică de calcul DT, urmînd staţiile FAI, Bularga, CUG, Iaşi-Sud etc. În staţiile FAI, Galata şi Bularga se vor realiza şi legăturile cu calculatorul DT.

Concluzii

Alegerea variantei optime în stabilirea conducerii operative pe calculator este funcţie de o serie de factori, cum ar fi : configuraţia reţelei, numărul şi tipul staţiilor, numărul şi importanţa consumatorilor, criteriile care stau la baza furnizării energiei electrice etc. Trecerea la noi variante de conducere operativă implică o serie de măsuri. Esenţială rămîne producerea în ţară a echipamentului de telecomandă şi de calcul corespunzătoare.

La nivelul întreprinderilor de reţele electrice, pentru facilitarea introducerii acestor tehnici noi de conducere operativă, rezultă următoarele sarcini :

— efectuarea de studii pentru stabilirea configuraţiei viitorului sistem de conducere operativă, pentru ca toate investiţiile viitoare să fie orientate în acest scop ;

— stabilirea celei mai adecvate etapizări de trecere la noul sistem de conducere operativă ;

— urmărirea unei tipizări a schemelor de conexiuni şi a celor de încadrare în sistem ;

— echiparea staţiilor existente şi a celor în curs de construcţie cu echipamente de telecomandă;

— formarea de personal în această direcţie.

Bibliografie

[1] Abella, R. *Matériels informatiques dans la téléconduite des postes électriques.* Techniques de l'ingénieur, 1979.

[2] Beaudouin, M. ş. a. *Réseaux de microprocesseurs pour la gestion centralisée des postes de distribution MT/BT.* În : RGE, nr. 12, 1979, p. 940—943.

[3] Fradet, A. ş. a. *Conduite en temps réel des moyens de production et de transport.* În : RGE, nr. 7/8, 1974, p. 488—497.

[4] Ionescu, S. ş. a. *Software de aplicaţie pentru conducerea on-line a sistemului energetic naţional.* În : Energetica, nr. 7—8, 1979, p. 391—393.

[5[Rozov, S. *Sisteme cu microprocesoare pentru comanda cascadelor de hidrocentrale şi a staţiilor în Japonia.* În : Energetica-INID, nr. 7, 1979, p. 6—14.

[6] Tellier, R. ş. a. *Outils modernes de conduite et orientation en matière de gestion des réseaux électriques de distribution.* Congrès de Toulouse, 2—6 oct. 1979.

[7] Zallmann, K. *Entwicklungstendenzen in der Fernwirktechnik.* În : Energietechnik, nr. 10, 1978, p. 23—29.

Secţia III — Comportarea în exploatare a echipamentelor şi materialelor electroenergetice. Noi soluţii constructive şi de proiectare a reţelelor electrice

— Raport general —

Ing. **I. Prelipcean**
Ing. **D. Boşcoianu**
— IRE Suceava —

În cadrul acestei secţii su fost cuprinse un număr de 55 referate, împărţite, după specificul subiectelor abordate, în două subsecţii.

Subsecţia III.1 — *Comportarea în exploatare a echipamentelor şi materialelor electroenergetice*

Referatele prezentate la această secţie reflectă preocupările din ultima vreme în direcţia îmbunătăţirii comportării echipamentului electroenergetic sub un unghi foarte larg, pornind de la problemele puse de echipamentele existente, continuînd cu aspecte legate de aparatajul ce urmează să fie produs în serie şi caracteristicile materialelor utilizate la fabricarea diferitelor elemente, uşurarea muncii la mentenanţa echipamentelor prin utilizarea unor noi dispozitive manuale sau mecanizate, utilizarea calculatorului în aprecierea modului de comportare a instalaţiilor şi terminînd cu analiza factorului uman, ca ultimă verigă de care depinde buna funcţionare a oricărui sistem tehnologic.

Astfel, referatele III.1.1, III.1.2, III.1.4, III.1.5 şi III.1.6 studiază întreruptoarele de medie şi înaltă tensiune în diferite regimuri şi condiţii de funcţionare.

Referatul III.1.3 cuprinde metode şi instalaţii de diagnosticare a comportării la scurtcircuit brusc a transformatoarelor de putere.

Referatele III.1.10 şi III.1.11 abordează comportarea echipamentului din reţelele de medie tensiune sub aspectul cercetării statistice, respectiv din punct de vedere fenomenologic.

Efectele poluării asupra izolaţiei echipamentului electric sînt redate în referatul III.1.18, iar comportarea în exploatare a instalaţiilor electrice de distribuţie de j. t. în referatul III.1.9.

Comportarea celulelor de înaltă tensiune în SF_6 la arcuri electrice de scurtcircuit este cuprinsă în referatul III.1.7.

Referatele III.1.13, III.1.14 şi III.1.15 tratează comportarea materialelor în condiţii de coroziune.

Referatul III.1.16 cuprinde aspecte privind caracteristicile statistice ale tensiunii de străpungere a izolaţiilor la supratensiuni interne, iar III.1.19 aspectele energetice determinate de anizotropia magnetică a materialelor.

O serie de dispozitive de testare şi de lucru la echipamentele de comutaţie primară din staţiile de transformare sînt descrise în referatul III.1.8. Mecanizarea aferentă activităţilor de exploatare şi întreţinere a instalaţiilor din reţelele electrice este tratată în referatul III.1.12.

În referatul III.1.17 se abordează analiza pe calculator numeric a caracteristicilor statistice ale supratensiunilor de comutaţie la liniile de foarte înaltă tensiune.

Prin referatul III.1.20 se propune experimentarea unor metode prin care se apreciază implicarea factorilor psihologici în activitatea complexă din reţelele sistemului electroenergetic.

În lucrarea III.1.1 se prezintă rezultatele obţinute la experimentările executate, în perioada 1978—1979, asupra întreruptoarelor de medie tensiune, privind : comutaţia în regim capacitiv, comutaţia în regim de dublă punere la pămînt şi dublu RAR, comportarea la temperaturi scăzute.

La deconectarea în regim de scurtcircuit la borne folosind întreruptoare cu mai multe locuri de rupere pe fază, tensiunea tranzitorie de restabilire se repartizează neuniform, solicitînd diferit camerele de stingere ale aceleiaşi faze ; fenomenul este analizat în referatul III.1.2. Se arată că, pentru determinarea solicitărilor reale, ICEMENERG şi CCSIT Electroputere-Craiova au realizat un montaj experimental, care a fost încercat în Laboratorul de mare putere (LMP) Craiova, măsurîndu-se repartiţia tensiunii pe locuri de rupere la probe reale de scurtcircuit la borne, deconectate cu 50—110 kV. S-au executat măsurători ale repartiţiei cu şi fără condensatoare de uniformizare. În lucrare se prezintă de asemenea probe de tip, de deconectare pe scurtcircuit, realizate aplicînd pe camera de stingere o tensiune mai mare, aşa cum a rezultat din măsurătorile executate.

Referatul III.1.4 atrage atenţia asupra repartiţiei tensiunilor înalte de impuls de tensiune de trăsnet şi de comutaţie, precum şi a tensiunilor de restabilire şi tranzitorii de restabilire care în ansamblul lor ocupă un loc central

și de maximă importanță pentru dimensionarea și funcționarea fiabilă a întreruptoarelor de înaltă și foarte înaltă tensiune, îndeosebi datorită neliniarității acestui fenomen.

În prima parte a lucrării se prezintă rezultatele repartiției potențialelor și gradienților de potențial pe modelul fizic de izolație al unui întreruptor de înaltă tensiune cu mai multe elemente separate. Cu ajutorul modelului se reușește ca prin metode mai ușor de aplicat și mult mai puțin costisitoare față de cele corespunzătoare unei baze de încercări pe real să se obțină un volum important de determinări utile studiului repartițiilor de potențial și gradienți pe camerele de stingere ale întreruptoarelor, de care depinde găsirea unor mijloace eficiente de uniformizare a repartițiilor de potențiale și gradienți de tensiune care în același timp să satisfacă și condițiile unei construcții ușoare, fiabile și ieftine.

Partea a doua a lucrării cuprinde studiul experimental al repartiției tensiunii de restabilire și tensiunii tranzitorii de restabilire la întreruptoarele de înaltă tensiune cu două elemente separate. Se conchide că repartiția tensiunii pe întreruptorul tip IO—110 kV/1600 A este de 70% pe prima cameră de rupere și de 30% pe a doua cameră de rupere pentru I_{sc} = 10 kA; dispoziția capacităților adiționale pe camerele de rupere dă practic repartiția tensiunilor pe întreruptor în timpul proceselor de comutație.

În cadrul lucrării III.1.5 se arată că la încercările efectuate asupra întreruptoarelor de medie și înaltă tensiune este interesant de cunoscut dacă un întreruptor are posibilitatea să facă față unor solicitări diferite de cele nominale (de obicei mai mari). Ca indicator al acestei probleme se alege comportarea curentului post-arc.

Curentul din arcul electric, tensiunea arcului, puterea, respectiv energia dezvoltată în arc și presiunea din camera de stingere pot furniza informații importante în procesul de comutație a întreruptoarelor, constituind o caracteristică de apreciere a funcționării lor în regim de scurtcircuit, atît pentru organele din exploatare și personalul tehnic din laboratoarele și stațiile de încercări, cît mai ales pentru proiectanți în vederea îmbunătățirii performanțelor, a raționalizării și modernizării echipamentelor existente. În referatul III.1.6 se expune obținerea acestor date la CCSIT Electroputere-Craiova prin metode, scheme și dispozitive proprii, aplicate cu succes.

Măsurarea puterii arcului electric în procesele de comutație a întreruptoarelor de înaltă tensiune s-a făcut cu un aparat construit pe principiul multiplicatorului electronic cu transconductanță variabilă, ce prezintă cîteva particularități, și anume:

— posibilitatea măsurării puterii instantanee a arcului electric la potențial ridicat;

— transmiterea semnalului de măsură (u_{arc}, i_{arc}) se face prin cablu coaxial cu o lungime de peste 100 m, ceea ce a impus adaptarea lui pentru înlăturarea reflexiilor;

— realizarea unor circuite de intrare speciale în dispozitivul de măsură;

— utilizarea unor traductoare de măsură verificate în ceea ce privește timpul de răspuns și caracteristica de frecvență.

Determinarea presiunii în camera de stingere este o operație de mare dificultate, deoarece implică o construcție specială pentru fixarea traductorului de măsură într-o manieră care să nu afecteze configurația geometrică a camerei de stingere și să nu influențeze caracteristicile procesului de rupere a arcului. De aceea un mijloc mai comod privind determinarea presiunilor în procesele de comutație este acela de a le măsura în carterele inferioare și superioare ale întreruptoarelor, luîndu-se în considerare un coeficient de siguranță pentru dimensionarea corectă a camerelor de stingere. O astfel de metodă se aplică în Laboratorul de mare putere din cadrul CCSIT-EP Craiova, cu un aparat destinat măsurării presiunilor cu variație rapidă ce utilizează traductoare cu membrană de tip inductiv și rezistiv.

În lucrarea III.1.3 este descrisă o metodă de diagnosticare a transformatoarelor testate la scurtcircuit în vederea cercetărilor și omologării lor, metodă care a început să se aplice cu succes la încercările efectuate în laboratorul de mare putere din cadrul CCSIT—EP-Craiova.

Este, de asemenea, prezentată instalația ce a rezultat prin utilizarea acestei metode, instalație cu care s-au efectuat experimentări pe transformatoare cuprinse în gama 40 kVA—25 000 kVA.

Pe baza unei statistici, în lucrarea III.1.10 se compară performanțele echipamentului cu care este dotată rețeaua de medie tensiune cu solicitările la care acesta este supus, rezultînd o serie de concluzii pentru proiectare-exploatare și pentru constructorii de echipament. Se face constatarea că folosirea performanțelor întreruptoarelor și separatoarelor este foarte redusă, fiind raționale acțiuni pentru:

— fabricarea unei serii de echipamente mai simple, de gabarit redus și mai ieftine;

— reconsiderarea echipării rețelelor urbane, în special a posturilor de transformare, în direcția simplificării acestora și a încărcării economice a transformatoarelor.

Prin lucrarea III.1.11 se atrage atenția asupra faptului că majoritatea defectelor din celulele de medie tensiune din ultimii ani sînt determinate de:

— explozia reductoarelor de curent în rășină tip CIRS 20 kV fabricate la Electroputere-Craiova, indiferent de tipul celulei;

— condensarea apei pe elementele izolante relativ reci, urmată de descărcări parțiale și degradarea în timp a izolației la celulele de tip închis.

Se arată că fenomenul intim de degradare a izolației reductoarelor de curent tip CIRS 20 kV se manifestă printr-un transport de material de la spira înfășurării primare, prin masa izolantă, la suportul reductorului legat la pămînt. Spira, în secțiunea slăbită, se topește și volatilizează datorită curentului de sarcină, producîndu-se o supra-presiune locală ce duce la fisurarea blocului de masă izolantă și ionizarea spațiului izolant din celulă, sub acțiunea vaporilor de cupru eșapați prin fisură. Se propun măsuri profilactice suplimentare la punerea în funcțiune și îmbunătățirea fabricației.

Se demonstrează că apariția condensărilor de apă pe izolația relativ rece din celulă este posibilă la pătrunderea unor cantități infime de apă în interiorul celulelor sau la variații mari de temperatură în decurs de 24 ore. Se propun măsuri de activare a ventilației celulelor de exterior și prescrierea, prin completarea STAS 10990—78, a vitezei de variație a temperaturii la celulele închise de tip interior.

În lucrarea III.1.18 sînt tratate efectele poluării asupra izolației echipamentului electric în instalațiile electrice din zona Oltenia. Se analizează în amănunt sursele de poluare și natura lor. Sînt prezentate incidentele și avariile produse datorită poluării izolației instalațiilor electrice de înaltă tensiune și descrise măsurile luate pentru limitarea și prevenirea efectelor poluării în instalațiile electrice.

Se arată că izolația este conturnată în condiții atmosferice caracteristice, și anume pe timp de ceață, burniță, depunere după o perioadă îndelungată lipsită de precipitații. Forma și dimensiunea zonelor de poluare diferă practic de cele prezentate în normativ, în sensul că acestea se află într-o continuă extindere, pe măsura creșterii duratei de funcționare a sursei de poluare. Tratarea corectă a izolației prin unsoare siliconică sau minerală duce la o comportare bună a izolației. Izolația de sticlă de tip F16P și PSG12A se comportă bine în condiții de poluare, datorită proprietăților mai bune de autocurățire.

Referatul III.1.9 se ocupă de stadiul actual (la nivelul anului 1980) al construcției rețelelor cu conductoare torsadate și tendințele ce rezultă dintr-un bilanț în acest domeniu, ce se vor reflecta în lucrările din rețelele de distribuție de JT în cincinalul 1981—1985.

În lucrarea III.1.7 sînt tratate probleme legate de probabilitatea apariției arcurilor electrice interne din celulele de înaltă tensiune izolate în hexafluorură de sulf, măsuri adoptate pentru limitarea efectelor externe, experimentări și măsurători efectuate în acest scop în cadrul Laboratorului de mare putere din EP-Craiova.

În referatul III.1.13 sînt prezentate rezultatele experimentale privind coroziunea unor metale în diferite medii agresive. Condițiile de încercări și metodologia de cercetare abordată urmăresc studierea comportării la coroziune a metalelor utilizate în construcția unor instalații și rețele electrice ce lucrează în atmosfere corosive. Încercările s-au efectuat pe o instalație concepută și realizată de autori.

În lucrarea III.1.14 se studiază modificarea proprietăților mecanice la tracțiune și rezilință la coroziune sub tensiune mecanică. Încercările s-au efectuat pe o instalație de concepție originală, obținîndu-se rezultate ce prezintă interes deosebit pentru practică.

În zonele Exploatării miniere Tarnița și Abator Botoșani, condițiile de mediu prezintă o agresivitate pronunțată pentru instalațiile și rețelele electrice, care sînt corodate. În scopul limitării efectelor corosive s-au abordat o serie de cercetări care au ca scop final alegerea unor metale adecvate de protecție anticorosivă. În lucrarea III.1.15 sînt prezentate rezultatele experimentale obținute pe teren privind coroziunea unor materiale, făcîndu-se referiri asupra eficienței unor metode de protecție utilizate.

În cadrul lucrării III.1.16, pe baza datelor din literatura de specialitate și a unor încercări experimentale, se analizează caracteristicile statistice ale tensiunii de străpungere a izolațiilor la supratensiuni interne. Analiza statistică a tensiunii de străpungere în cazul unor spații vîrf-vîrf și vîrf-placă, solicitate cu unde de supratensiune atît de polaritate pozitivă cît și negativă, evidențiază abateri semnificative de la repartiția gaussiană. Se subliniază faptul că aprecierea riscului de descărcare în alte ipoteze decît cele de repartiție gaussiană conduce la valori diferite, uneori chiar ca ordin de mărime. De aceea pentru coordonarea corespunzătoare a izolației este necesară o analiză aprofundată a tipurilor de repartiție și a parametrilor specifici acestora.

Lucrarea III.1.19 prezintă interes sub aspectul eforturilor făcute pentru reducerea pierderilor în materialele magnetice ale mașinilor electrice. Se studiază, în funcție de gradul de anizotropie (α), distribuția cîmpului magnetic într-o tolă, calculîndu-se pierderile specifice medii și tensiunea magnetică. Se arată că pierderile magnetice prezintă un minim pentru $\alpha = 1$. Ipotezele făcute și rezultatele obținute concordă cu tola reală în cazul motorului liniar asincron și în cazul mașinilor cu un număr mare de perechi de poli.

În cadrul lucrărilor de cercetare din anii 1979—1979 au fost realizate o serie de dispozitive de testare și de lucru la echipamentele de comutație primară din stațiile de transformare. Dispozitivul pentru înregistrarea caracteristicilor dinamice ale IUP 110 kV, aparatul pentru măsurarea timpului de deschidere a contactelor întreruptorului și instalația pentru măsurarea căderilor de tensiune la contacte sînt descrise în lucrarea III.1.8. Eficiența economică rezultată din aplicarea cercetării IRE Iași, în colaborare cu Institutul politehnic Iași, este de 300 000 lei/an.

În lucrarea III.1.12 se prezintă o sinteză a realizărilor mai importante din sfera mecanizării lucrărilor de exploatare-întreținere a rețelelor electrice, realizate în cadrul CIRE, cu evidențierea avantajelor tehnico-economice mai deosebite. De asemenea, în lucrare se scot în evidență elementele de mecanizare complexă, care fie că sînt în execuție ca prototip, fie că sînt proiectate sau în curs de finalizare a proiectării. Se pune accentul pe latura funcțională specifică, strîns corelată cu ideea reducerii efortului fizic, a creșterii productivității muncii și cu asigurarea condițiilor de muncă fără pericol de accidente.

Concepția acestor utilaje ține seama de posibilitatea de realizare a lor în cadrul unităților cu specific de construcții de mașini și prelucrare a metalelor ale CIRE, fără a se apela la subansambluri și materiale din import.

La liniile de transport al energiei electrice de foarte înaltă tensiune, factorul determinant al izolației îl reprezintă supratensiunile interne, îndeosebi cele de comutație. În vederea coordonării pe baze statistice a izolației acestora, în lucrarea III.1.17 se analizează, folosindu-se tehnica modernă de calcul, caracterul și parametrii repartiției diferitelor mărimi aleatorii ce caracterizează supratensiunile în cazul conectării unei linii electrice aeriene în gol. Rezultatele obținute pun în evidență următoarele :

— supratensiunile fază-fază diferă de cele fază-pămînt și necesită luarea lor în considerație de sine stătătoare în ceea ce privește concepția și încercările de izolație ;

— pentru studii aprofundate este util să se aibă în vedere posibilitatea de a genera repartiții mai detaliate ale supratensiunilor (acestea nefiind absolut gaussiane) :

— nu se obține o corelație semnificativă între amplitudinea supratensiunilor și faza de conectare ; aceasta se datorește probabil faptului că la calculator a fost luată în considerare și variația tensiunii de alimentare, inclusiv datorită caracterului deformant al acesteia ;

— valorile pantei (atît la supratensiunile fază-pămînt, cît și la cele fază-fază) pot fi considerate ca reuniunea a trei grupuri de valori repartizate aproximativ gaussian ; supratensiunile și timpii de atingere a valorilor maxime corespunzătoare celor trei grupe de pante au valori medii ce cresc, respectiv scad, odată cu creșterea valorilor pantei ;

— s-au obținut corelații liniare semnificative între panta și amplitudinea supratensiunilor fază-pămînt și fază-fază și corelații semnificative de grad superior între acestea și timpul de atingere a valorii maxime ;

— avînd în vedere că forma undei de supratensiune are o anumită influență asupra tensiunii de ținere a spațiilor de izolație, este util să se ia în considerare introducerea unei corecții în funcție de durata frontului undei.

În lucrarea III.1.20 se analizează aspectele legate de introducerea examenului psihologic în întreprinderile de rețele electrice în scopul prevenirii randamentului scăzut, a greșelilor în procesul de muncă, a accidentelor de muncă sau avariilor soldate cu pagube materiale mari.

Se evidențiază în ce măsură factorii psihologici se intercondiționează, se pot modela matematic, se pot utiliza pentru aprecierea realizării cu succes a muncii electroenergeticienilor. Se insistă asupra criteriului succesului profesional absolut necesar în modelarea fenomenelor în politica deciziilor.

Modelarea matematică a factorilor psihologici permite economisirea timpului examinatorilor, respectiv posibilitatea examinării unui număr mai mare de lucrători.

Concluzii și probleme supuse dezbaterii

În cadrul tematicii abordate s-a pus în mod deosebit accent pe următoarele direcții :

— modernizarea și îmbunătățirea caracteristicilor de funcționare a echipamentului de comutație primară pe baza datelor obținute la încercările din laboratoarele de mare putere, respectiv continua îmbunătățire a metodelor și tehnicilor de investigare, prin adoptarea de noi scheme și aparate de concepție originală și prin folosirea pe scară largă a calculatoarelor numerice ;

— îmbunătățirea exploatării și fabricației echipamentelor electroenergetice prin măsuri propuse în urma unor studii statistice bine fundamentate, pe bază de date concrete sau ca urmare a explicării cauzelor avarierii de echipamente prin aprofundarea observațiilor asupra fenomenelor fizice ce intră în discuție;

— se remarcă efortul pentru introducerea tehnicii noi la echiparea instalațiilor electrice din rețelele de transport și distribuție;

— un loc important în sfera de preocupări din domeniu îl ocupă studierea materialelor în vederea îmbunătățirii calității și utilizarea judicioasă a acestora, vizînd de multe ori și eliminarea importului;

— cu privire la mentenabilitatea echipamentelor, se face simțită din ce în ce mai mult preocuparea pentru mecanizare și îmbunătățirea dispozitivelor de lucru.

Subsecția III.2. — *Noi soluții constructive și de proiectare a rețelelor electrice*

În cadrul acestei subsecții au fost cuprinse 35 de lucrări, care evidențiază o serie de probleme de importanță majoră cu care se confruntă în prezent dezvoltarea instalațiilor electroenergetice, probleme care reclamă soluții adecvate din faza de proiectare. Aceste aspecte sînt determinate atît de dinamica rapid crescătoare a necesarului de energie electrică în diferite zone, acoperirea sporurilor de putere apărînd ca o necesitate obiectivă, cît și de faptul că atingerea acestui obiectiv în condițiile actuale (reducerea efortului de investiții cu asigurarea unui nivel de siguranță și de pierderi satisfăcător) impune promovarea soluției optime din punct de vedere tehnico-economic. Este de subliniat faptul că asistăm în prezent la o conlucrare fructuoasă a specialiștilor din institutele de cercetare și proiectare, facultățile de profil ale institutelor politehnice și din întreprinderile de rețele electrice în vederea rezolvării acestor probleme complexe, cu rezultate deosebite pe linia integrării cercetării fundamentale în activitatea de producție.

Prima lucrare din această subsecție — III.2.1. — prezintă modul de stabilire a spectrului armonicilor de curent generate de receptoarele electrice neliniare prin folosirea funcțiilor salt ca metodă de liniarizare a circuitelor electrice neliniare. Lucrarea are în vedere principalele receptoare de energie electrică frecvent întîlnite în rețelele sistemelor electroenergetice: mutatoare, ondulatoare, cuptoare electrice cu arc ș.a.

Probleme actuale privind calculul mecanic al LEA sînt abordate într-un grup de zece lucrări, evidențiindu-se diferite aspecte care pot conduce la creșterea indicatorilor de siguranță aferenți rețelelor aeriene. Concepută în două părți și cu încercări de laborator, lucrarea III.2.2 tratează, în prima parte, problemele generale privind studiul vibrațiilor conductoarelor LEA prin metoda similitudinii electromecanice, subliniindu-se faptul că această metodă reduce timpul necesar pentru efectuarea calculelor față de metoda mecanică. Bazată pe analogia între fenomenele liniilor lungi și vibrațiile mecanice, metoda se poate extinde prin studii și experimentări asupra tuturor elementelor liniilor electrice aeriene (amortizoare, distanțoare, balize etc.). În partea a doua, metoda este aplicată la analiza amortizorului Stockbridge și a bretelei de amortizare, bazele teoretice ale comportării mecanice la vibrații fiind verificate experimental în laborator, obținîndu-se rezultate confirmate de practică. Lucrarea III.2.6 tratează modul de abordare a problemei încărcărilor de calcul pentru LEA în vederea revizuirii normativului PE 104/1971, capitolul privind condițiile climaterice constituind obiectivul principal, deoarece aceste condiții influențează în cea mai mare parte cheltuielile necesare pentru realizarea liniilor și siguranța lor în exploatare. Prelucrarea statistică a unui volum important de date a condus la o serie de modificări stipulate în noua ediție a normativului (PE 104/79), acordîndu-se o importanță deosebită implicațiilor tehnico-economice ale modificărilor propuse, în unele situații obținîndu-se chiar economii la investiții de circa 7%. Importanța calculului domeniilor de utilizare a elementelor care alcătuiesc LEA este subliniată în lucrarea III.2.7, domeniile permițînd o cunoaștere a funcționării liniilor executate, supuse la încercări cu sarcini din vînt și chiciură, și funcție de acestea la o dimensionare economică. De asemenea se pot stabili coeficienți de siguranță pe fiecare element în parte și, astfel, elementul liniei indicat să cedeze primul, sau care poate fi schimbat cu altul, cu calități mecanice superioare, în eventualitatea unor noi condiții impuse.

Utilizarea LEA 400 kV cu trei conductoare pe fază, din considerente energetice (mărirea capacității de transport, reducerea pierderilor etc.), presupune și o creștere importantă, cu 40—50%, a încărcărilor asupra stîlpilor, situație în care se impune stabilirea geometriei stîlpilor care să corespundă noilor condiții.

Lucrarea III.2.1 prezintă rezultatele studiilor întocmite de ISPE-București — secția linii — în vederea echipării stîlpilor cu trei conductoare de 450/75 mm² pe fază, cu indicarea caracteristicilor acestor LEA, a ipotezelor și condițiilor tehnice de calcul etc., o importanță deosebită acordîndu-se respectării condițiilor de lucru sub tensiune.

O serie de contribuții originale la metodele de calcul și dimensionare a elementelor LEA sînt prezentate în lucrările III.2.26, III.2.27, III.2.28, III.2.29.

În lucrările III.2.26, III.2.27 și III.2.28 se propun soluții originale pentru dimensionarea LEA — coductoare-amortizoare — ținînd seama de factorii climatici, de efectele lor asupra LEA și în special de vibrațiile forțate amortizate. În lucrarea III.2.26 se evidențiază posibilitatea utilizării în calculul mecanic a acțiunii vîntului funcție de timp, a greutății proprii a conductoarelor, a forțelor de inerție și a forțelor disipative. Rezolvarea ecuațiilor diferențiale cu ajutorul calculatorului va permite trasarea curbelor de stabilitate, rezultînd implicit măsurile practice de luat pentru mărirea siguranței LEA. În lucrările III.2.27 și III.2.28 sînt analizate condițiile de încărcare datorate factorilor climatici cu aplicație concretă la zona Suceava, în scopul măririi siguranței în funcționare. Se compară încărcările obținute de la stațiile meteo cu cele din toate normativele după care s-au proiectat LEA în ultimii 20 de ani.

În lucrarea III.2.29 se evidențiază realizarea unor lucrări de LEA într-o zonă deosebit de dificilă ca relief, din Munții Bistriței, la Barnar.

Pentru a nu face fundații cu picioare supraînălțate s-au realizat confecții metalice bulonate, ca și stîlpii, cu care s-au preluat economic denivelările.

Problema introducerii în calculul mecanic al conductoarelor și a efectului mecanic al scurtcircuitului este tratată în lucrarea III.2.30. Se evidențiază efectele mecanice ce apar în cazul unui scurtcircuit pe LEA, datorită forțelor electrodinamice, posibilitatea calculării acestor forțe, precum și necesitatea luării în considerare a tracțiunii suplimentare introduse în conductoare de aceste forțe.

O ultimă lucrare cu subiect de calcul mecanic, III.2.34 — „Contribuții privind mărirea siguranței balizării LEA 110 kV", abordează problema balizării LEA 110 kV funcție de forma balizei, acțiunea vîntului și rezistența mecanică a conductorului de protecție.

Folosind un calcul laborios, se stabilesc, funcție de diversele ipoteze de încărcare, domeniile în care oscilațiile produse sînt periodice sau aperiodice, stabile sau instabile, precum și măsurile de aducere în domeniul periodic stabil, în vederea măririi siguranței.

Se fac recomandări privind forma balizelor, aducîndu-se îmbunătățiri și celor existente.

O altă grupă de zece lucrări abordează probleme tot din domeniul liniilor aeriene, dar cu referiri la parametrii electromagnetici.

Influența asupra mediului înconjurător a LEA de foarte înaltă tensiune este tratată în lucrările III.2.3 și III.2.23, aspectele analizate referindu-se în principal la producerea perturbațiilor radioelectrice, zgomotul acustic pro-

dus de descărcarea corona, determinarea cîmpului electrostatic la sol. S-au pus în evidență variația nivelului de zgomot acustic cu diverși parametri, avansîndu-se ideea unor corelații între zgomot și gradient și între zgomot și parametrii geometrici ai conductoarelor, astfel încît zgomotul acustic poate deveni un parametru al dimensionării și fixării traseului viitoarei linii de înaltă tensiune. Pentru determinarea cîmpului electrostatic la sol, s-a propus o metodă iterativă și realizarea unui program de calcul cu ajutorul căruia, prin precizarea unor parametri, se pot alege diferite tipuri de conductoare, diferite lungimi de deschideri, săgeți ale conductoarelor etc.

Stabilirea corectă a nivelului de pierderi prin efect corona, a nivelului de perturbații de înaltă frecvență sau zgomot acustic, precum și a parametrilor de fază și nodali ai liniei impune determinarea parametrilor electrici.

În cazul liniilor aeriene cu mai multe circuite, problema este destul de dificilă și face obiectul referatului III.2.4, în care se prezintă trei programe de calcul specializate, concepute și testate de autori pe calculatorul FELIX C-256. Considerînd dimensiunile reale ale conductoarelor liniei și pierderile active funcție de frecvență, s-au determinat diferite caracteristici reprezentînd valori inițiale în vederea stabilirii peferomanțelor liniei și condițiile de încadrare în mediul înconjurător.

O problemă de mare actualitate — lucrul sub tensiune la 110 kV — este tratată în lucrarea III.2.9, analizîndu-se elementele constructive ale LEA proiectate la noi în țară, în vederea atingerii acestui deziderat. În concluzie, autorii precizează că stîlpii noi proiectați se apropie, ca greutate, de stîlpii vechi, iar mărirea cheltuielilor de investiție nu este esențială, amortizîndu-se foarte repede prin reducerea cheltuielilor de exploatare și întreținere.

O interesantă analiză comparativă a soluțiilor adoptate de ISPE la proiectarea unor LEA de 400 kV simplu circuit din țara noastră este prezentată în referatul III.2.10. Pornind de la aspectele energetice sau de la cele care privesc în exclusivitate proiectarea liniei (traseu, condiții meteorologice, soluții tehnice pentru lanțuri de izolatoare, sau de utilizare a stîlpilor, grad de poluare și fundații), s-au determinat o serie de indicatori valorici ce diferă de la o linie la alta, evidențiindu-se faptul că întreg procesul de proiectare constituie un volum mare de muncă bazat pe un înalt grad de documentare, tehnicitate și criterii care să conducă la maximum de rentabilitate.

Două referate — III.2.20 și III.2.21 — abordează o temă complexă referitor la determinarea tensiunii de atingere în conductoarele unei linii în curs de montaj, paralelă și cu o linie existentă de 220 sau 400 kV, atît în regim normal cît și în regim de scurtcircuit. Rezultatele obținute s-au concretizat în alcătuirea unui program de calcul, iar testarea acestuia pentru diferite situații concrete a permis trasarea unui set de diagrame din care se pot determina tensiunile de atingere, funcție de distanța între cele două linii, lungimea deschiderii, rezistența prizei de punere la pămînt, valoarea curentului în regim normal sau de scurtcircuit, luîndu-se măsuri corespunzătoare de micșorare pînă la limita admisă de normele de tehnica securității muncii.

Factor esențial în determinarea parametrilor liniei, determinarea înălțimii echivalente a conductoarelor constituie subiectul lucrării III.2.22, în care se propune o metodă ce constă în rezolvarea unei ecuații matriciale a capacităților proprii și mutuale cu ajutorul programului de calcul COND. Rezultatele experimentale atestă faptul că în cazul conductoarelor active se constată diferențe mari între înălțimea echivalentă astfel calculată și cea rezultată funcție de săgeată, situație de care este necesar a se ține seama în calculele de finețe.

Coordonarea izolației în sistemele electroenergetice presupune, ca un prim element foarte important, determinarea atenuării și distorsionării undelor care se propagă pe conductoarele liniilor electrice aeriene, problemă ce a fost analizată în lucrările III.2.24 și III.2.25. Utilizînd metoda descompunerii în serii Fourier pentru o undă injectată în conductorul de protecție, s-a tratat atît atenuarea și distorsionarea undei făcînd abstracție de restul conductoarelor, cît și în prezența unui conductor activ care devine, la rîndul său, prin cuplaj electromagnetic, sediul unei unde induse. Programul de calcul întocmit în acest scop, și rulat pentru diferite situații practice, a permis trasarea unor grafice care redau variația amplitudinii și a fazei undei ce se propagă pe conductorul de protecție, funcție de frecvența undei și numărul de ordine al stîlpului.

În cazul conductoarelor active, metodologia de calcul este prezentată în două variante, și anume prin aplicarea mărimilor de fază, respectiv mărimilor nodale, ultima variantă fiind folosită atît în cazul liniilor considerate infinite, cît și în cazul liniilor finite.

Problemele de actualitate privind proiectarea stațiilor de transformare au constituit obiect de analiză numai pentru trei referate. În primul, III.2.5, sînt prezentate cîteva aspecte privind concepția stațiilor de tip interior din generația III (generația IV considerîndu-se stații cu echipament capsulat în SF_6). Pornind de la condițiile de bază (reducerea suprafeței ocupate, protecția împotriva agenților poluanți, aspect estetic) și de la unele condiții suplimentare (posibilitatea adoptării unor scheme electrice ce permit insularizarea consumatorilor vitali, utilizarea unui echipament cu un conținut de ulei sub 60 kg/recipient, mărirea posibilităților de satisfacere la montaj etc.), noul proiect-tip reprezintă un pas important în optimizarea stațiilor de 110 kV interioare. Avantajele deosebite ale echipamentului capsulat în SF_6 (reducerea volumului de 5—10 ori, insensibilitate la poluare, durată de viață mărită, întreținere simplă) sînt evidențiate în lucrarea III.2.19, care menționează totodată și principalul dezavantaj, și anume costul încă foarte ridicat. Considerată ca fiind soluția viitorului, începînd cu anul 1980 la IRE Craiova s-a pus în funcțiune, pentru probe, o celulă de 123 kV construită, prin concepție proprie, de către CCSIT Electroputere-Craiova și ICPE-București. În referat se prezintă o descriere a construcției și a particularităților în funcționare, subliniindu-se avantajele celulelor sub anvelopă metalică izolate cu SF_6, esențial fiind gabaritul redus și durata de viață ridicată (20—30 ani).

Analiza funcționării separatoarelor STEP-2-110 kV este prezentată în lucrarea III.2.31, în care se demonstrează că acționarea monofazică a cuțitelor de legare la pămînt prin dispozitive AME nu este eficientă, autorii propunînd acționarea lor trifazică prin dispozitive ASE, AP sau AME.

Avînd în vedere volumul mare de investiții necesar pentru realizarea rețelelor de medie și joasă tensiune, găsirea unor noi soluții constructive, care să reducă cheltuielile necesare în acest sector, prezintă un interes deosebit și este tratată în lucrările III.2.11 și III.2.12. Autorii prezintă stadiul actual, la nivelul anului 1980, în domeniul construcției rețelelor subterane de medie și joasă tensiune, precum și tendințele de îmbunătățire ce se vor reflecta în volumul de lucrări și reparații capitale pentru cincinalul 1981—1985.

Referatul III.2.13 prezintă relațiile de calcul pentru determinarea parametrilor transversali și longitudinali aferenți cablurilor electrice, cu referiri speciale în cablurile trifazate în manta comună și monofazate cu manta separată. Pentru stabilirea relațiilor de calcul într-o concepție nouă, autorii pleacă de la fenomenele fizice care au loc în timpul funcționării cablului în condițiile în care sînt cunoscute caracteristicile dimensionale ale acestuia, rezultatele teoretice fiind verificabile prin măsurători.

Promovarea soluției de tratare a neutrului prin rezistență, care prezintă o serie de avantaje importante față de soluția clasică (bobină de stingere), este foarte mult influențată de condițiile de realizare a protecției la tensiunile de atingere și de pas. Deși rețelele subterane prezintă condiții mai bune decît cele aeriene, din acest punct de vedere, totuși realizarea prizelor de punere la pămînt în posturi de transformare sau puncte de alimentare ridică o serie de probleme care își găsesc o rezolvare mai simplă prin considerarea participării mantalei cablurilor la micșorarea rezis-

tenței de dispersie totale. În referatul III.2.14 se stabilesc o serie de scheme echivalente, subliniindu-se faptul, confirmat de probele efectuate în sistem, că pentru o anumită lungime minimă a rețelei subterane din zona postului de transformare, actualele prize satisfac cerințele standardelor în vigoare. Mai mult chiar, se avansează ideea că peste o anumită lungime a cablurilor cu manta de plumb și benzi metalice se poate renunța la priza de pămînt artificială.

Creșterea puterii transformatoarelor necesare în sistemul electroenergetic național impune rezolvarea unor probleme foarte dificile referitoare la reducerea pierderilor, reducerea gabaritelor etc., care reclamă în primul rînd utilizarea unor materiale conductoare sau magnetice cu performanțe ridicate, mult superioare celor existente. Utilizarea supraconductoarelor poate constitui o soluție în acest sens, probleme legate de calculul și realizarea unor instalații criogene fiind tratate în referatele III.2.16 și III.2.33. Autorii prezintă o serie de aspecte legate de calculul conductoarelor de curent răcite și de proiectarea criotransformatoarelor, în special cele răcite cu azot lichid. Se subliniază faptul că se poate utiliza o parte din tehnologia transformatoarelor clasice, realizarea unei unități cu puterea pînă la 250 MVA cu înfășurări de aluminiu conducînd la o reducere de aproape 5 ori a materialului conductor, concomitent cu diminuarea la jumătate a pierderilor de energie electrică.

Efectele variațiilor de tensiune în sistemul de alimentare a consumatorilor cu utilaje acționate de motoare asincrone sînt analizate în lucrarea III.2.15, cu referiri atît la influența instalațiilor furnizorului asupra instalațiilor consumatorului, cît și la influența perturbatoare pe care o exercită unele receptoare asupra parametrilor rețelei de alimentare. Autorii prezintă rezultatele obținute cu ajutorul programului de calcul al parametrilor motoarelor asincrone în condiții de abateri ale tensiunii de alimentare cuprinse între -20% și $+20\%$, subliniind faptul că aceste rezultate pot sta la baza unor studii cu privire la mărirea daunelor provocate de aceste abateri de tensiune.

Concepută în două părți, lucrarea III.2.18 analizează specificul descărcătoarelor cu stingere prin autosuflaj a arcului electric în ansamblul tipurilor constructive de descărcătoare cu rezistență variabilă, autorul prezentînd, în final, cîteva soluții constructive reprezentative de descărcătoare cu autosuflaj realizate la diverse firme constructoare.

O ultimă grupă de lucrări din cadrul acestei subsecții prezintă o serie de echipamente și dispozitive realizate pentru diferite verificări și încercări în rețea sau pe linie de cercetare și autodotare proprie din cadrul IRE Suceava. Astfel, referatul III.2.17 evidențiază preocupările colectivului laboratorului de înaltă tensiune de la I.C.P.E. în vederea realizării unor instalații pentru verificarea calității izolației echipamentului de medie și înaltă tensiune. Sînt prezentate caracteristicile pentru generatoarele de impuls, instalațiile de încercare la înaltă tensiune tip modul, sursele de tensiune înaltă continuă și generatoarele de impulsuri repetate pentru încercarea izolației între spirele bobinajelor mașinilor electrice de înaltă tensiune. În final autorii semnalează un domeniu încă insuficient abordat în țara noastră, și anume acel al coexistenței aparaturii electronice din stații cu echipamentul de înaltă tensiune din zonă în condițiile în care circuitele conectate la aceste aparate pot deveni sediul unor impulsuri parazitare prin cuplaj electromagnetic, în cazul descărcărilor atmosferice, scurtcircuite sau procese de comutație, străpungeri sau conturnări de izolații etc.

Referatul III.2.35 prezintă un dispozitiv electronic destinat amorsării arcului și asigurării funcționării tuburilor fluorescente de iluminat interior. Autorii subliniază faptul că se elimină balastul și starterul, asigurîndu-se funcționarea tuburilor ale căror filamente au fost arse, iar dispozitivul prezintă o durată de funcționare mult mai mare decît soluția clasică.

Lucrarea III.2.32 prezintă cîteva dintre cele mai semnificative realizări pe linie de cercetare, autodotare și autoutilare ale IRE Suceava în perioada 1978—1979. Se evidențiază instalația pentru separarea mecanică a conductoarelor Ol—Al, regulatorul automat pentru bobine de stingere cu reglaj continuu, releul electronic pentru semnalizarea limitelor de tensiune în curent continuu, un nou tip de DCP, dispozitivul hidraulic pentru perforarea și tăierea cablurilor 0,4—20 kV și instalația pentru executarea fundațiilor-cheson.

Concluzii și probleme supuse dezbaterii

Analiza referatelor din cadrul acestei subsecții evidențiază o mare varietate de aspecte, cu concluzii și propuneri valoroase, de utilitate practică. Dintre acestea se pot menționa cîteva cu problematică generală, care prezintă interes pentru etapa actuală sau de perspectivă imediată:

— dezvoltarea și necesitatea combaterii fenomenelor de regim deformant;

— utilizarea de noi metode de calcul mecanic al LEA, în vederea aprecierii cantitative și a luării în considerare a tuturor factorilor ce se manifestă în practică;

— determinarea influențelor, sub toate aspectele, ale LEA de înaltă și foarte înaltă tensiune asupra mediului înconjurător și măsurile ce se impun din acest punct de vedere;

— aprofundarea analizelor care conduc la aprecierea parametrilor electrici aferenți diferitelor elemente de rețea în vederea fundamentării concluziilor referitoare la circulația puterilor active și reactive, tensiunile în noduri, nivelul de pierderi, mărimea curenților de scurtcircuit etc.;

— adoptarea de noi soluții constructive în domeniul rețelelor de medie și joasă tensiune în vederea reducerii efortului de investiții pentru preluarea noilor consumatori casnici și alimentarea cu energie electrică la parametrii corespunzători a celor existenți;

— analiza critică a soluțiilor utilizate în prezent pentru construcția stațiilor de transformare și propuneri de îmbunătățire vizînd reducerea spațiului ocupat, reducerea consumului de materiale, posibilitățile de echipare electromecanică ce asigură un grad ridicat de siguranță etc.;

— utilizarea metodelor moderne și a tehnicii de calcul în vederea evidențierii unor aspecte privind funcționarea sistemului electroenergetic, care, considerate din faza de proiect, vor conduce la reducerea pierderilor de energie electrică, reducerea timpilor de indisponibilitate a echipamentului, utilizarea rațională a fondurilor de investiții etc.;

— tehnologii și echipamente noi pentru mărirea productivității muncii în activitatea de exploatare și întreținere, avîndu-se în vedere creșterea continuă a volumului de instalații și tendința de menținere sau chiar reducere a numărului de lucrători;

— posibilități și necesități privind dotarea cu instalații de verificare și încercare a echipamentelor energetice în vederea prevenirii avariilor și a îmbunătățirii activității de întreținere și exploatare.

Considerăm că schimburile de opinii și idei pe marginea acestor probleme vor contribui la jalonarea unor direcții juste pentru activitatea de cercetare și proiectare în domeniul sistemelor electroenergetice.

Fenomene evolutive ce conduc la deteriorarea unor echipamente electrice în exploatare

Ing. **D. Boşcoianu**, ing. **R. Sfichi**
şi ing. **Ch. Cernuşcă**
— IRE Suceava —

Condiţiile impuse echipamentului instalat în reţelele electrice de transport şi distribuţie sînt satisfăcute printr-un complex de măsuri, care începe cu tehnologia de fabricaţie, continuă cu exploatarea curentă şi reparaţiile şi se termină cu înlocuirea aparatajului.

În cadrul duratei de viaţă a echipamentului, în general cunoscută individualizat pe baza experienţei de exploatare, se produc şi ieşiri accidentale din funcţiune, care sînt explicate prin analizele de avarii efectuate în cadrul întreprinderilor de exploatare şi urmate de măsuri speciale, luate de la caz la caz.

Uneori fenomenele evoluează în timp, au forme şi manifestări diferite, neputînd fi prinse uşor în analizele de avarii, care sînt considerate eficiente dacă se desfăşoară într-un timp relativ scurt. În aceste situaţii avariile se pot repeta provocînd daune însemnate atît în instalaţiile furnizorului de energie, cît mai ales în sfera de producţie a consumatorilor de energie afectaţi de întruperile în alimentare. Asemenea avarii repetate au dus însă şi la acumularea unor observaţii experimentale care au dat posibilitatea explicării fenomenelor de bază ce le determină.

O parte din acestea constituie obiectul prezentei lucrări, care vizează comportarea în exploatare a celulelor metalice prefabricate de medie tensiune.

Defectările celulelor metalice prefabricate de medie tensiune produse în ultimii ani sînt determinate în principal de :

a) explozia reductoarelor de curent în răşină tip CIRS 20 kV, indiferent de tipul celulei;

b) condensarea apei pe elementele izolante relativ reci, urmată de descărcări parţiale şi degradarea în timp a izolaţiei la celulele de tip închis.

În cele ce urmează se vor analiza în detaliu cele două cauze principale care conduc la defectările în exploatare ale celulelor metalice prefabricate de medie tensiune.

a) După nu mai puţin de şapte avarii neexplicate din punctul de vedere al cauzelor şi condiţiilor în care s-au produs, s-a constatat că la anumite reductoare de curent în răşină, supuse în exploatare la supratensiunile interne şi externe care apar, precum şi supravoltărilor accidentale de durată la punerile la pămînt în reţea, se produce o electroliză prin semiconductorul constituit de masa de răşină şi stratul de izolare deteriorat al conductorului înfăşurării de înaltă tensiune (*IT*), între această înfăşurare de IT şi pămînt.

Curentul de defect (de natura curentului alternativ redresat) erodează în timp bara de cupru, secţiunea căii principale de curent ajungînd să fie mult diminuată (fig. 1). Particulele

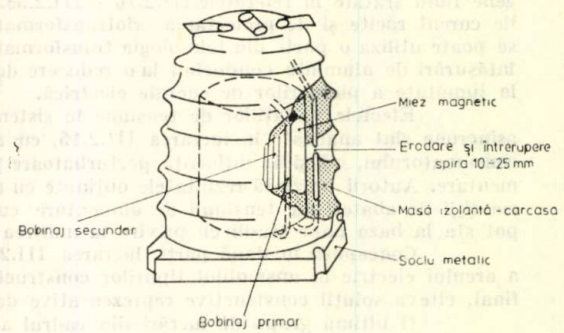


Fig. 1

de cupru se regăsesc în masa de răşină într-o zonă conoidă, avînd la vîrf conductorul de IT şi la bază placa de fixare a reductorului şi brîul adiacent de vopsea grafitată (fig.2).

Ţinînd seama de forma şi orientarea conului de conducţie în semiconductorul masiv şi de imaginea craterului format în conductor, pentru un număr mare de cazuri de reductoare găsite cu defecte în diverse secvenţe, se poate presupune uşor că punctul de plecare în desfăşurarea fenomenului este situat la nivelul separaţiei între conductorul de cupru şi masa izolantă.

Curentul de sarcină prin reductor produce o încălzire locală în zona de secţiune slăbită, ce favorizează, la rîndul ei, creşterea curentului de defect pînă la dezvoltarea acestuia din urmă în avalanşă, moment în care se produce topirea rapidă şi evaporarea unei mici porţiuni din conductor (fig. 1). Carcasa izolantă crapă sub acţiunea presiunii şi vaporii de cupru sînt eşapaţi în celulă, ionizînd spaţiile de izolare în aer

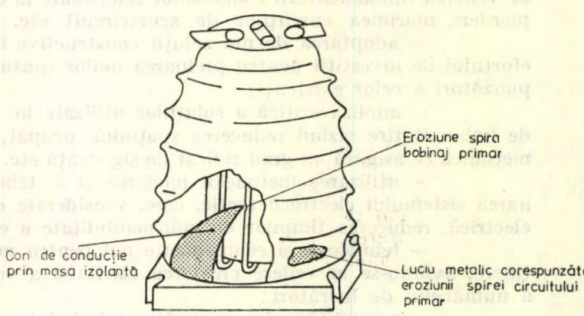


Fig. 2

dintre părţile sub tensiune. Rezultatul final este distrugerea aparatajului din celulă şi scoaterea din funcţiune a sistemelor de bare în legătură cu celula respectivă. Aspectul general dă impresia că întreruptorul nu a lucrat corect la un defect pe linie (care, de cele mai multe ori, se

poate afirma cu certitudine că nu a existat), că a fost deschis un separator sub sarcină sau că o supratensiune a dus la străpungerea unui punct slab al izolației, provocînd ionizarea spațiilor izolante sănătoase.

Pentru prevenirea unor avarii provocate de explozia reductoarelor de curent în rășină, se propune ca:

— la punerea în funcțiune, după proba cu tensiune alternativă mărită, să se treacă imediat la o probă de durată cu tensiunea de $1{,}1 \times \sqrt{3} \times U_f$ de min. 1/2 h, urmînd ca reductoarele a căror rezistență de izolație scade cu mai mult de 10% după această probă să nu fie admise în instalații;

— la reductoarele de curent, aflate în exploatare, avînd brîul de vopsea roșie decolorat sau exfoliat pe anumite porțiuni, să se execute în cel mai scurt timp măsurători de izolație și să se compare cu datele obținute la măsurătorile anterioare, în vederea înlocuirii reductoarelor cu rezistența de izolație relativ scăzută; unde rezultatele măsurătorilor anterioare lipsesc, comparația se va face între rezultatele obținute pe reductoare diferite în aceeași celulă, înlocuirea vizînd pe cele cu rezistență de izolație scăzută cu mai mult de 20% față de cel cu rezistența de izolație maximă; reductoarele propuse pentru înlocuire vor fi refolosite numai dacă satisfac proba de p.i.f. expusă mai sus;

— în fabricație, să se folosească materiale mai sigure pentru izolația conductorului înfășurării de IT, precum și o masă izolantă superioară care să permită contactul direct cu cuprul și să aibă rigiditate dielectrică mai bună.

b) Din motive de exploatare, determinate de buna gospodărire a energiei electrice, distanțele între stațiile de injecție a puterii, existența zonelor de umbră radio și posibilitățile de deplasare în teren, în rețelele de distribuție aeriene de medie tensiune sînt necesare celule tip ACELA, avînd funcții de manevră și de măsură. Aceste celule, cuprinzînd în general același tip de aparataj și respectînd aceleași distanțe minime de izolație, diferă din punct de vedere constructiv, funcție de seria de fabricație, furnizor și eventualele modificări la care au fost supsue.

Celulele tip ACELA în zona IRE Suceava se comportă mulțumitor în exploatare. Iarna mai rar, dar în special vara după ploi, anumite celule (sub 5% din numărul lor total) duc însă la neplăceri legate de conturnarea pe interior a izolatoarelor de trecere. Ca observație foarte importantă, fenomenele se repetă de obicei la aceleași celule. Vina s-a atribuit, de cele mai multe ori, etanșării insuficiente la flanșele izolatoarelor pe tabla acoperișului celulei.

În perioada de iarnă spre primăvară și mai ales în timpul viscolelor obișnuite, în multe celule de tip închis pentru posturi trafo se produc ieșiri din funcțiune prin conturnări, chiar acolo unde depozitele de zăpadă au fost înlăturate sau nu au ajuns la distanțe periculoase față de părțile sub tensiune.

De asemenea, în celule închise, se produc uneori conturnări urmate de ionizări și străpungeri ale spațiilor izolate neexplicate și care de obicei se pun ușor pe seama unor supratensiuni ce nu au însă condiții de apariție la valori importante, date fiind caracteristicile electromagnetice ale rețelei.

S-a constatat și demonstrat ulterior că o mică cantitate de apă pătrunsă în celulă (max 20 g, la un volum de 6 m^3 — deci nesesizabilă vizual, evaporarea făcîndu-se complet pînă la limita superioară a intervalului de temperatură pentru 24 h) este suficientă ca la o scădere de temperatură de 6°C să ducă la fenomene de condensare, urmate de descărcări parțiale, respectiv distrugerea într-un timp relativ scurt a izolației.

Pe diagrama din figura 3, rezultată din [1], se poate ca, în diverse ipoteze de temperatură și umiditate relativă [2], să se determine cantitățile de apă suplimentară și diferențele de temperaturi care devin critice în condițiile reale de exploatare. Pe aceeași diagramă se poate vedea că în condițiile unor celule etanșe, conținînd inițial aer relativ cald, nu este necesară nici pătrunderea suplimentară de umezeală.

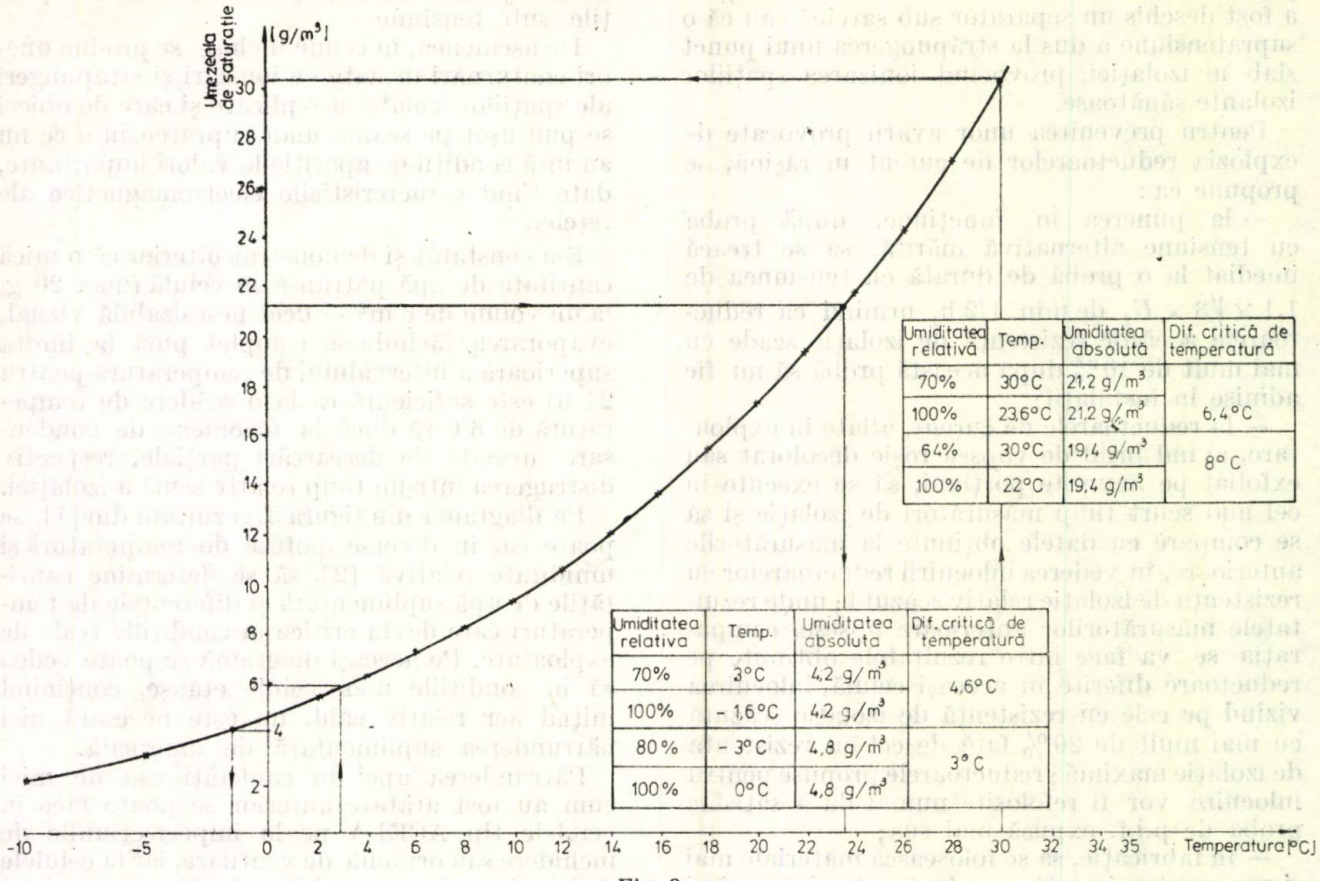
Pătrunderea apei în cantități așa de mici cum au fost arătate anterior se poate face în celulele tip ACELA pe la imperfecțiunile de închidere sau orificiile de ventilare, iar la celulele de interior prin scurgeri de la luminatoare, planșee sau cantități mici de zăpadă spulberată prin aerisiri (fig. 4 și 5).

Măsurile care se propun pentru prevenirea avarierii celulelor prin condensarea apei pe izolație sînt:

— pentru proiectare, asigurarea unei ventilații suficiente a celulelor (3 × volumul celulei/24 h), izolarea corespunzătoare a plafoanelor posturilor trafo în cabină zidită independentă, amplasarea celulelor departe de luminatoare sau aerisitoare;

— pentru fabricație și activitatea de reparații în exploatare, eliminarea neetanșeităților care constituie căi de pătrundere a apei, activarea ventilației celulelor de exterior; introducerea în prospectele CIMAE Craiova referitoare la celulele de tip închis, la capitolul „condiții de funcționare", a vitezei admisibile pentru variația temperaturii mediului ambiant (în general sub 10°C/24 h);

— pentru forurile superioare, completarea STAS 10990—78, referitor la celule prefabricate în înveliș metalic, la cap. 1.5, cu „*viteza de variație a temperaturii mediului*" în care sînt montate celulele, avînd în vedere că umiditatea relativă de 80% la 35°C, indicată la paragraful 1.5.4 din STAS, înseamnă o umiditate absolută de circa 30 g/m^3 (adică umezeala de saturație corespunzătoare temperaturii de 30°C), la o diferență de temperaturi, între aerul relativ cald



Umiditatea relativă	Temp.	Umiditatea absolută	Dif. critică de temperatură
70%	30°C	21,2 g/m³	6,4°C
100%	23,6°C	21,2 g/m³	
64%	30°C	19,4 g/m³	8°C
100%	22°C	19,4 g/m³	

Umiditatea relativa	Temp.	Umiditatea absoluta	Dif. critică de temperatură
70%	3°C	4,2 g/m³	4,6°C
100%	- 1,6°C	4,2 g/m³	
80%	- 3°C	4,8 g/m³	3°C
100%	0°C	4,8 g/m³	

Fig. 3

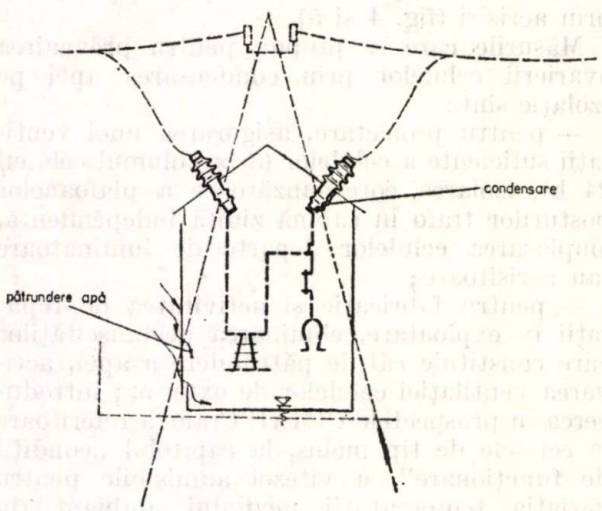


Fig. 4

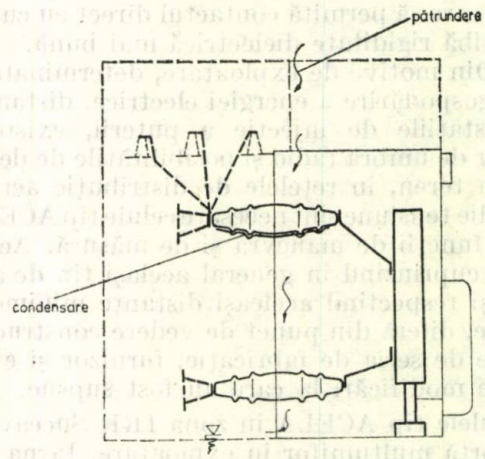


Fig. 5

din celulă şi elementele relativ reci, depăşind 5°C ducînd la fenomenul condensării apei pe elementele reci ale izolaţiei.

Bibliografie

[1] L i n d n e r, H. *Fizica pentru tehnicieni*, vol. 2. Editura tehnică, Bucureşti, 1961 (trad. din l. germană).

[2] * * * Comitetul de stat al apelor — Institutul de meteorologie. *Atlasul climatologic al R.S.R.*, Bucureşti 1966.

Încadrarea liniilor de înaltă tensiune în mediul înconjurător. Aspecte legate de zgomotul acustic provocat de descărcarea corona

D. Cristescu, M. Ungureanu, P. Postolache, Gh. Măgureanu, S. Munteanu
— Institutul politehnic București —

Extinderea lungimii liniilor de tensiuni foarte înalte, de 220 kV și 400 kV, de la 3162 km în 1970 la 6476 km în 1977, adică de 2,05 ori, a adus în preocupările tehnice actuale aspecte legate de dezvoltarea descărcării corona în lungul traseului acestor linii pe conductoare și pe lanțurile de izolatoare. O atenție sporită se acordă astăzi cunoașterii calitative și cantitative a modului în care instalațiile electroenergetice funcționînd la aceste tensiuni influențează mediul înconjurător. Din acest punct de vedere interesează următoarele aspecte:

— concepția, alegerea traseului și a coronamentului liniilor electrice aeriene;

— producerea perturbațiilor radioelectrice;

— zgomotul acustic produs de descărcarea corona;

— intervenția sarcinilor spațiale corona în valoarea cîmpului de frecvență industrială, la suprafața solului, în vecinătatea liniilor coronate.

Producerea și dezvoltarea descărcării corona este influențată determinant de starea suprafeței conductorului și de condițiile meteorologice. Aceasta face necesar ca cercetările să se facă pe durate mari de timp, în vederea obținerii legităților statistice în evoluție și consecințelor descărcării corona.

Lucrarea pune accentul pe determinări ale zgomotului acustic efectuate în sistemul energetic și pe linia experimentală de la I.P.B., interpretarea lor statistică, precum și compoziția spectrală a zgomotului acustic.

1. Aspecte generale legate de concepția, alegerea traseului, coronamentului și conductoarelor din punct de vedere al influenței asupra mediului ambiant

Dezvoltarea continuă a rețelelor de înaltă tensiune, impusă de creșterea consumului de energie, pune cu tot mai multă acuitate în fața proiectantului problema impactului liniilor electrice aeriene asupra mediului ambiant.

Dacă pînă de curînd singurul criteriu de decizie în alegerea unei variante constructive de linie era cel economic, astăzi — odată cu creșterea densității liniilor electrice — se constată că acest criteriu este insuficient, deoarece nu ia în considerare toate aspectele relației linie electrică — mediu ambiant. În prezent, în diferite țări, se fac studii pentru elaborarea unor metode de calcul care să permită integrarea cît mai bună a liniilor electrice în mediu, abandonîndu-se astfel empirismul care caracterizează aceste aspecte.

În acest mod, concepția, alegerea traseului, a coronamentului și a conductoareor unei linii trebuie să satisfacă o serie de restricții privind perturbațiile radio și acustice, valorile cîmpului electric la sol, încadrarea în peisaj și altele, astfel încît poluarea globală produsă de o linie electrică să fie minimă.

Dificultatea majoră provine din faptul că impactul unei linii electrice aeriene asupra mediului ambiant nu poate fi luat direct și integral în calcul, cel mai greu de estimat fiind influența liniei asupra peisajului.

Studiile efectuate în acest sens evidențiază faptul că perturbația introdusă în mediul ambiant de o linie dublu circuit este mai mică decît cea introdusă de două linii simplu circuit, de aceeași tensiune nominală; se remarcă deci tendința realizării în diferite țări a unor linii electrice cu mai multe circuite.

În cele ce urmează se va trata cazul liniei simplu circuit și cel al liniei dublu circuit. Problema alegerii secțiunii conductoarelor se poate trata în același mod. Se va presupune că liniile au aceeași tensiune nominală.

Fie o rețea electrică realizată în exclusivitate cu linii simplu circuit de lungime totală L_s. Dacă rețeaua ar trebui să fie construită numai cu linii dublu circuit, atunci lungimea totală a liniilor L_d ar fi $L_d = \alpha L_s$, unde coeficientul α este, evident, subunitar ($\alpha < 1$). Pentru a compara cele două tipuri de rețele, se introduce noțiunea de impact asupra mediului sub forma unui raport de impact între linia dublu circuit și cea simplu circuit de aceeași lungime. Un asemenea raport este însă insuficient pentru a exprima toate aspectele privind poluarea globală produsă de o linie aeriană. Din această cauză raportul de impact va fi considerat nu ca un factor cantitativ, ci ca un mijloc de comparație privind alegerea soluției linie simplu sau linie dublu circuit.

Fie c_d costul unei linii dublu circuit și c_s costul unei linii simplu circuit de aceeași lungime; i_d — impactul produs de o linie dublu circuit și i_s — impactul produs de o linie simplu circuit. Notăm cu c și i raporturile:

$$c = \frac{c_d}{c_s}; \quad i = \frac{i_d}{i_s}$$

Pentru ansamblul rețelei, raportul dintre costurile globale (C) și cel dintre impacturile globale (I) între o rețea construită cu linii dublu circuit și o rețea construită cu linii simplu circuit sînt: $C = \alpha c$; $I = \alpha i$.

Aceste relații simple pot fi reprezentate grafic ca în figura 1. Pentru a putea interpreta rezultatele, s-a considerat un exemplu numeric,

arbitrar ales, considerîndu-se $c = 1{,}8$ şi $i = 1{,}2$. În acest caz, dreptele $C = \alpha c$ şi $I = \alpha i$ intersectează orizontala $C = I = 1$ în puncte care împart valorile parametrului α în trei zone :

$$1)\ \alpha > \frac{1}{i} = 0{,}83$$

Pentru aceste valori, $C > 1$, $I > 1$. Reţelele cu linii simplu circuit sînt mai economice şi perturbă mai puţin decît reţelele cu linii dublu circuit. Linia simplu circuit este deci de preferat din ambele puncte de vedere.

$$2)\ \alpha < \frac{1}{c} = 0{,}55$$

Pentru aceste valori, $C < 1$, $I < 1$. Reţelele cu linii dublu circuit sînt deci mai economice şi perturbă mai puţin decît reţelele cu linii simplu circuit. Din ambele puncte de vedere este, deci, de preferat linia dublu circuit.

$$3)\ 0{,}55 < \alpha < 0{,}83.$$

Pentru aceste valori, $C > 1$ şi $I < 1$. Reţelele cu linii dublu circuit perturbă mai puţin decît cele cu linii simplu circuit, dar sînt mai scumpe. Alegerea unui anumit tip de linie va depinde deci de valoarea lui α şi de efortul financiar acceptat pentru reducerea impactului global.

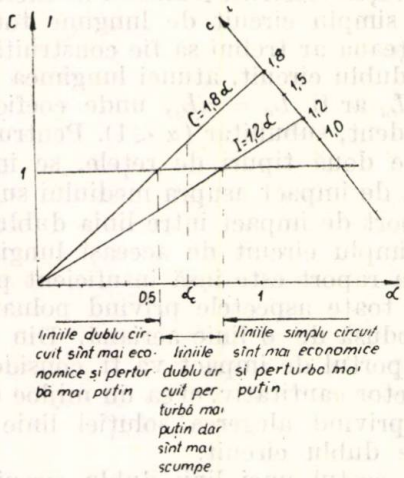


Fig. 1

Un punct de reper interesant este valoarea critică $\alpha_c = 0{,}675$, pentru care costul suplimentar produs de construirea sistematică a unei linii dublu circuit este egal, în valoare relativă, cu diminuarea impactului. Acest punct separă zona de incertitudine în două subzone în interiorul cărora se pot degaja următoarele tendinţe :

$\alpha < 0{,}675$ — tendinţă spre linie dublu circuit ;

$\alpha > 0{,}675$ — tendinţă spre linie simplu circuit.

Evident că această tendinţă nu devine semnificativă decît pentru valori ale lui α îndepărtate de valoarea critică.

Trebuie să subliniem faptul că analiza posibilităţilor de reducere a impactului reţelelor electrice asupra mediului ambiant nu poate fi făcută punctual, ocazionat de o investigaţie particulară, ci necesită un studiu de ansamblu, global, al zonei considerate, ţinînd seama de toate particularităţile specifice.

2. Aspecte acustice ale descărcării corona pe liniile electrice de foarte înaltă tensiune

2.1. *Generalităţi*

Problema zgomotului acustic generat de către descărcarea corona pe liniile de foarte înaltă tensiune stă în atenţia cercetătorilor din multe ţări ale lumii, cu tradiţie în studiul problemei respective, cum ar fi : Franţa, S.U.A., Belgia, Canada, Italia etc. Dezvoltarea liniilor electrice aeriene de foarte înaltă tensiune a dus la constatarea că acestea devin surse de poluare sonoră pentru mediul ambiant, odată cu creşterea tensiunii nominale. La tensiuni mai joase, nivelul zgomotelor este redus, şi aşa se explică de ce problema nu a fost suficient studiată. În prezent este din ce în ce mai limpede că zgomotul acustic injectat în mediu de către liniile electrice aeriene va fi un factor restrictiv important la proiectarea acestora, în special în zonele dens populate sau la traversarea aglomerărilor urbane.

Zgomotul acustic se simte în special pe vreme umedă. Pe vreme uscată cîmpul la suprafaţa subconductoarelor se află sub nivelul critic de apariţie a descărcării corona şi deci nivelul zgomotului (*NZA*) este scăzut. În condiţii de umiditate şi mai ales pe ploaie, picăturile de apă ce cad prin apropierea subconductoarelor, cad pe ele sau se adună pe acestea, produc descărcări corona (egrete), însoţite de mici pocnete, care, în vecinătatea liniei, sînt puse în evidenţă sub forma unui „bîzîit de albină" caracteristic. Acest zgomot se datorează suprapunerii aleatorii staţionare a efectelor sonore ale descărcărilor incomplete individuale în diverse puncte ale liniei, efecte ce constituie unde de şoc acustic, rezultatul respingerii ionilor brusc formaţi de către cîmpul electric intens.

2.2. Componenţa zgomotului acustic al LEA şi mecanismul producerii lui

În diverse condiţii de mediu, meteorologice şi de construcţie a liniilor electrice aeriene, pot fi puse în evidenţă mai multe componente în spectrul zgomotului acustic generat de către acestea :

— un zgomot de bandă largă ;

— componente de tonuri pure de frecvenţă $k.100$ Hz, pentru $k = 1$ obţinîndu-se efectul dominant.

Se pune de asemenea în evidenţă o modulaţie de foarte joasă frecvenţă, modulaţie care se asociază oscilaţiilor efectuate de către subconductoarele fascicolului ca o consecinţă mecanică a descărcării corona.

Zgomotul de bandă largă este compus dintr-o succesiune de impulsuri produse de descărcarea corona. Un rol important în generarea lui îl au strimerii pozitivi. Aceştia apar în pachete în semialternanţele pozitive ale tensiunii de frecvenţă industrială şi pot genera de asemenea şi componente de frecvenţă 50 Hz sau multipli ai acesteia, dar au însă o amplitudine redusă.

Punctul de pe subconductor în care a apărut un strimer pozitiv este originea unei unde de presiune sonoră ce se propagă în spaţiul înconjurător. Astfel de unde prezintă evident o distribuţie spaţială aleatorie (adică în lungul suprafeţei subconductoarelor) şi de asemenea în timp. Acest lucru face ca energia acustică generată să aibă şi ea un caracter aleatoriu în ceea ce priveşte distribuţia ei pe întreaga perioadă a tensiunii de alimentare.

Componenta *k*.100 Hz se datorează, în general, mişcării dinspre şi spre conductor a ionilor pozitivi şi negativi. Sarcina spaţială este creată prin ionizarea aerului produsă de către descărcările incomplete ce constituie sursa zgomotului de bandă largă. Însă nu toate etapele descărcării corona creează cele două componente sonore în aceeaşi măsură. Zgomotul de bandă largă este generat de către strimeri pozitivi, dar este posibil ca impulsurile Trichell să producă ionizări puternice şi deci tonuri pure intense simultan cu un nivel scăzut al zgomotului de bandă largă.

Nivelul celor două categorii de componente ale zgomotului acustic poate să difere considerabil, fiind influenţat de condiţiile meteorologice, care, la rîndul lor, influenţează sensibil descărcarea corona. Astfel, în condiţii meteorologice de timp uscat se pot genera niveluri de componentă de tonuri pure, în timp ce nivelul zgomotului de bandă largă este redus. Acest lucru este contrar celor ce se petrec în condiţii de ploaie intensă.

2.3. Caracteristici generale ale zgomotului acustic al LEA

2.3.1. Spectrul de frecvenţă. Zgomotul acustic al LEA este format, în principal, din componente de frecvenţă cuprinse în banda 15—1500 Hz, ţinînd seamă de sensibilitatea urechii umane. Repartiţia spectrală este relativ independentă de condiţiile meteorologice, influenţa acestora manifestîndu-se prin variaţii de nivel aproximativ egal la toate frecvenţele. În figura 2 s-au reprezentat diverse aluri caracteristice ale spectrului zgomotului acustic produs de linii electrice aeriene, punîndu-se totodată în evidenţă influenţa umidităţii [1].

2.3.2. Variaţia nivelului sonor. În condiţii meteorologice stabile, variaţiile nivelului sonor sînt de maximum 3 dBA în valoare globală. Aceasta se întîmplă la un gradient superficial de ordinul a 20 kV/cm la nivelul subconductoarelor. Fluctuaţiile de zgomot pot fi mai mari la valori mai scăzute ale cîmpului. Se menţionează că la liniile de 400 kV cu stîlpi portal cîmpul este de ordinul a 17—18 kV/cm.

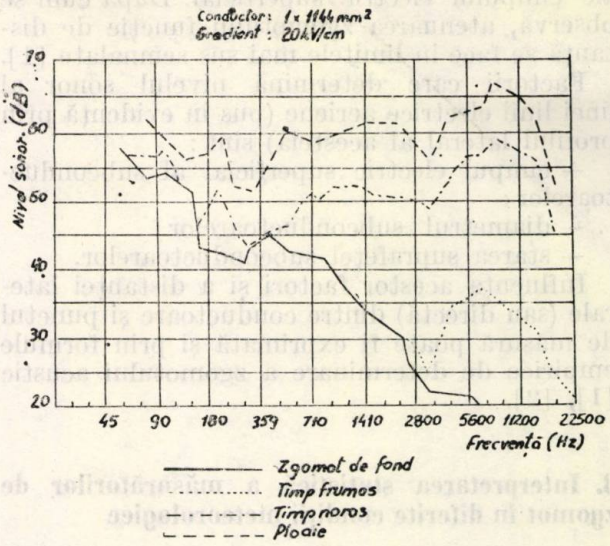


Fig. 2. Spectrul caracteristic de zgomot acustic produs de o linie de foarte înaltă tensiune.

2.3.3. Profilul lateral. Din datele experimentale ale literaturii de specialitate s-a putut trage concluzia că nivelul sonor global scade în medie cu 3 dBA, pe măsura depărtării de subconductor, la fiecare dublare a distanţei faţă de acesta. La distanţe mai mari de 30 m trebuie luat în considerare un coeficient de atenuare suplimentar, impus de pierderile de energie acustică prin frecări vîscoase, fenomen ce are ca efect secundar şi modificarea compoziţiei spectrale a zgomotului datorită „absorbţiei" diferite a mediului. Valorile numerice pentru acest coeficient nu sînt încă suficient precizate.

În figura 3 este prezentată variaţia nivelului sonorglobal în funcţie de distanţă pentru diferite secţiuni ale subconductoarelor şi diferite valori

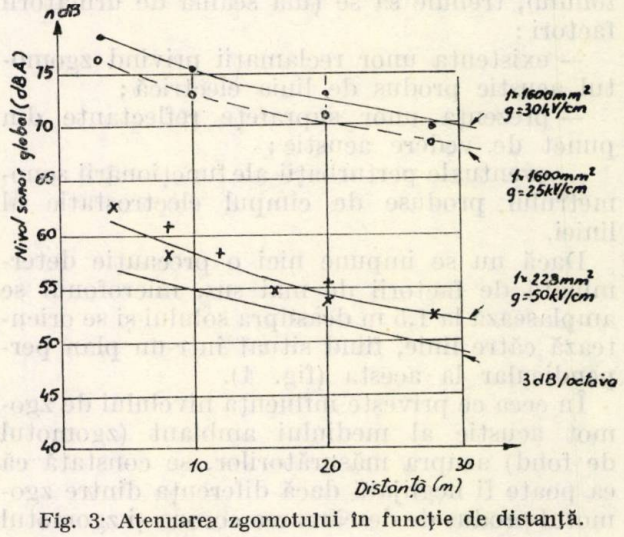


Fig. 3· Atenuarea zgomotului în funcţie de distanţă.

ale cîmpului electric superficial. După cum se observă, atenuarea zgomotului funcţie de distanţă se face în limitele mai sus semnalate [1].

Factorii care determină nivelul sonor al unei linii electrice aeriene (pus în evidenţă prin profilul lateral al acesteia) sînt :

— cîmpul electric superficial al subconductoarelor ;

— diametrul subconductoarelor ;

— starea suprafeţei subconductoarelor.

Influenţa acestor factori şi a distanţei laterale (sau directă) dintre conductoare şi punctul de măsură poate fi exprimată şi prin formule empirice de determinare a zgomotului acustic [1], [2].

3. Interpretarea statistică a măsurătorilor de zgomot în diferite condiţii meteorologice

3.1. Măsurători pe linii ale sistemului şi pe linia experimentală IPB

Prodeceul de măsură, unanim acceptat, pentru determinarea nivelului zgomotului acustic produs de descărcarea corona pe liniile de înaltă tensiune este cel recomandat în [1], zgomotul măsurîndu-se la mijlocul deschiderii dintre doi stîlpi şi într-un plan perpendicular pe axul liniei, funcţie de distanţa faţă de linie.

Deoarece condiţiile meterologice pot varia uneori rapid în timpul măsurătorilor, descărcarea corona (deci şi zgomotul acustic) depinzînd de factorii meteorologici, nu se recomandă să se efectueze măsurători utilizînd toate reţelele de ponderare ale sonometrului şi toate filtrele benzilor de octave. Este indicat să se folosească reţeaua de ponderare A şi reţeaua C, precum şi benzile de octave 63—, 125—, 250—, 1000— şi 8000 Hz.

Poziţia microfonului sonometrului faţă de linie are un rol important în acest tip de măsurători. Pentru determinarea orientării optime a microfonului, trebuie să se ţină seama de următorii factori :

— existenţa unor reclamaţii privind zgomotul acustic produs de linia electrică ;

— prezenţa unor suprafeţe reflectante din punct de vedere acustic ;

— eventuale perturbaţii ale funcţionării sonometrului produse de cîmpul electrostatic al liniei.

Dacă nu se impune nici o precauţie determinată de factorii de mai sus, microfonul se amplasează la 1,5 m deasupra solului şi se orientează către linie, fiind situat într-un plan perpendicular la acesta (fig. 4).

În ceea ce priveşte influenţa nivelului de zgomot acustic al mediului ambiant (zgomotul de fond) asupra măsurătorilor, se constată că ea poate fi neglijată dacă diferenţa dintre zgomotul produs de descărcarea corona şi zgomotul de fond este mai mare de 10 dB, pentru toată gama de frecvenţe şi pentru orice punct de măsură. În cazul în care această diferenţă este egală sau mai mică de 3 dB, nivelul zgomotului acustic produs de descărcarea corona poate fi egal sau mai mic decît cel al zgomotului de fond, şi cele două niveluri nu mai pot fi separate prin metodele de măsură uzuale.

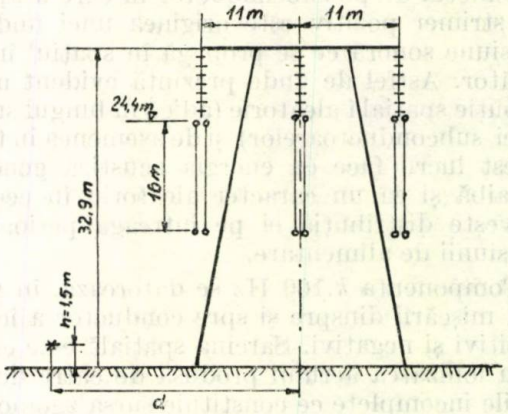


Fig. 4

Măsurătorile în sistemul energetic au fost efectuate în vecinătatea LEA Bucureşti-Sud — Urecheşti, de 400 kV, folosindu-se un sonometru de precizie tip SST-4 F—LEA (Franţa). Sonometrul este prevăzut cu un microfon tip condensator, cu un domeniu de frecvenţă cuprins între 20 Hz şi 20 kHz şi un domeniu dinamic de la 26 la 140 dB.

Măsurătorile s-au efectuat pe timp frumos, cît şi pe timp umed. Pentru stabilirea profilului transversal al zgomotului acustic s-au efectuat măsurători, folosindu-se reţeaua de pondere A, sub faza centrală a LEA şi la distanţele de 2 m, 5 m, 11 m şi 21 m faţă de faza centrală (tabelul 1).

Cu aceste date s-au trasat curbele din figura 5.

Se constată că nivelul zgomotului acustic este mai ridicat pe timp umed decît pe timp frumos, ceea ce se explică prin faptul că descărcarea corona este mai intensă în atmosferă ume-

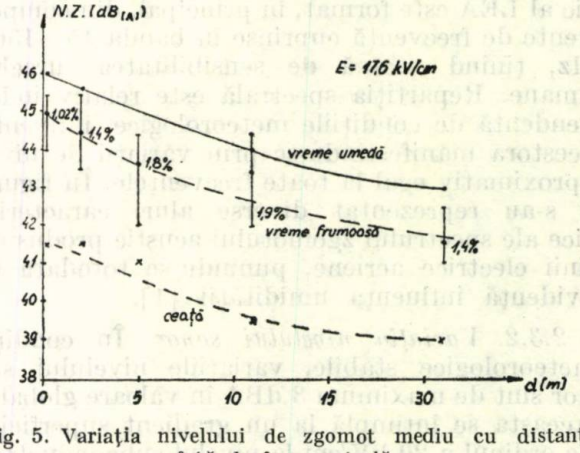


Fig. 5. Variaţia nivelului de zgomot mediu cu distanţa faţă de faza centrală.

Tabelul 1

Distanța față de faza centrală [m]			1	2	5	11	21
Nivel de zgomot (*NZ*) [dB(A)]	Vreme umedă		46	45,5	45,3	44	43
	Vreme cu ceață		41,5	41,5	41	39,5	39
	Vreme frumoasă	Valori medii	44,9	44,5	43,6	43,4	41,5
		σ[%]	1,02	1,4	1,774	1,94	1,39

Tabelul 2

Octava [Hz] / *NZ* [dB(A)]	31,5	63	125	250	500	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$16 \cdot 10^3$
Vreme frumoasă	50,7	50,7	46,7	40,5	34,7	35	34,3	28,5	23,5	20
Vreme umedă	55	50,4	50	38,7	32,6	35,2	35	34,5	30	23,5
Vreme cu ceață	50	50	49	44	37	30	27	25	24	20

dă. Pe ceață, nivelul zgomotului este sub nivelul celui de pe timp frumos, datorită atenuării mai importante a zgomotului, deși descărcarea corona este mai intensă.

La distanța de 21 m, în scopul analizei spectrale a zgomotului acustic s-au efectuat măsurători folosindu-se și filtrele de octave (tabelul 2).

Rezultatele s-au trasat în figura 6.

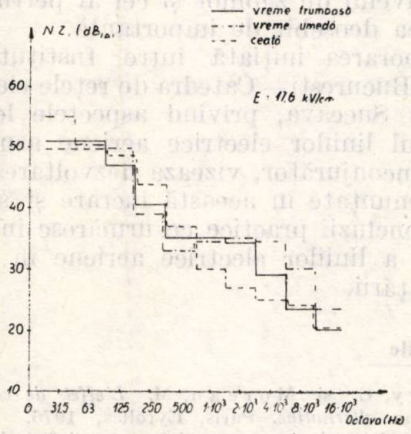


Fig. 6. Analiza spectrală a zgomotului acustic.

Măsurătorile pe linia experimentală din cadrul laboratorului de TTI de la IPB au fost efectuate la tensiunea nominală de 400 kV și 750 kV, alimentare monofazată.

Tabelul 3 prezintă media valorilor nivelului de zgomot (*NZ*) pentru tensiunea nominală de 750 kV, obținute în perioada de timp frumos.

Tabelul 4 prezintă media valorilor nivelului de zgomot măsurat, pe octave.

Tabelul 3

Distanța față de fază [m]		0	15
Tensiune pe fază [kV]	420	55,3	53,5
	434	56,5	54
	445	58	54

Se constată că nivelul zgomotului acustic, generat de o singură fază, este mai intens în cazul LEA de 750 kV decît pentru LEA de 400 kV. Astfel, la distanța 0 m (sub fază) s-au măsurat 46 dB(A) în cazul $U_n = 400$ kV și 56 dB(A) în cazul $U_n = 750$ kV, deci un plus de 10 dB(A) în cel de-al doilea caz.

Ținînd seama de faptul că la o linie reală de 400 kV și de 750 kV este de așteptat ca nivelul zgomotului acustic să crească, se impune o studiere atentă a problemei în vederea luării tuturor măsurilor necesare pentru reducerea poluării sonore a mediului ambiant de către o eventuală linie funcționînd la această tensiune nominală.

Nivelul zgomotului acustic în vecinătatea unei linii de înaltă tensiune este direct dependent de valoarea cîmpului electric la suprafața conductorului.

Cîmpul electric superficial al conductorului se determină cu relația:

$$E_{max} = E_{med}\left[1 + \frac{(n-1)r}{R}\right] \text{ [kV}_{ef}\text{/cm]}$$

$$\text{unde } \{E_{med}\} = \frac{\{q\}}{2\pi\varepsilon_0 rn},$$

Tabelul 4

Octava [Hz]		31,5	63	125	250	500	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$16 \cdot 10^3$
Tensiune pe fază [kV]	420	66,5	66,7	62	52,4	49	48	46,5	44,5	42	33
	434	62	65,7	59	50,5	48,7	47,5	46,7	46	45	35,7
	445	65	67,5	63	53	48,7	47,5	46,5	45,5	44	34

unde $\{q\}$ este vector-coloană a sarcinii electrice pe fiecare fază;

r — raza conductorului din fascicol;

R — raza cercului pe care sînt aşezate fascicolele conductoarelor;

n — numărul de conductoare din fascicol.

Tabelul 5 prezintă valorile cîmpului electric superficial al conductoarelor, calculate pentru valori de tensiune aplicate liniei experimentale de 400 kV şi 750 kV, ca şi cele corespunzătoare liniilor reale de 400 kV.

Tabelul 5

Tensiune nominală [kV]	Tensiune aplicată [kV]	Cîmp electric superficial [kV/cm]	
400 kV (linia reală)	400	maxim	minim
		{17,42 18,53 17,42}	{15,05 16,01 15,05}
750 kV (linia experimentală)	420 (pe fază)	18,26	
	434 „	18,87	
	445 „	19,35	

Gradientul superficial de potenţial la $U_n = 750$ kV este mai mare decît la $U_n = 400$ kV, ceea ce influenţează *N.Z.A.* al liniei, la $U_n = 400$ kV fiind de 46 dBA, iar la $U_n = 750$ kV de 56,5 dB(A).

Concluzii. Perspectiva cercetării

În lucrare a fost pusă în evidenţă variaţia nivelului de zgomot acustic cu diverşi praparametri (gradient superficial, distanţa faţă de conductor, precum şi caracterul aleatoriu al zgomotului acustic prin stabilirea abaterii medii pătratice).

În numeroase lucrări s-a semnalat importanţa stării suprafeţei conductorului asupra intensităţii desfăşurării descărcării corona. Poluarea atmosferică, particulele vegetale, insectele lipite de conductoare modifică profund starea suprafeţei conductoarelor; influenţa ceţii, a ploii este de asemenea foarte importantă, semnalîndu-se variaţii ale intensităţii descărcării corona în raportul 1 : 5 şi variaţii ale zgomotului acustic sau ale nivelului perturbator radioelectric Nivelul zgomotulul acustic sau nivelul perturbator radioelectric nu se poate da decît pe baze statistice, adică prin valoarea lor cea mai probabilă şi prin abaterea medie ori prin curba de distribuţie statistică. Astfel de rezultate se vor putea obţine prin măsurători de durată pe conductoare aflate la aceeaşi tensiune.

Sînt de aşteptat corelaţii între zgomot şi gradient, între zgomot şi parametrii geometrici ai conductoarelor, similar cu cele stabilite pentru perturbaţii radiofonice, astfel încît zgomotul acustic poate deveni un parametru al dimensionării şi al fixării traseului viitoarei linii de înaltă tensiune.

De aceea stabilirea unei eventuale dependenţe între nivelul de zgomot şi cel al perturbaţiilor apare ca deosebit de importantă.

Colaborarea iniţiată între Institutul politehnic Bucureşti — Catedra de reţele electrice — şi IRE Suceava, privind aspectele legate de impactul liniilor electrice aeriene asupra mediului înconjurător, vizează dezvoltarea problemelor enunţate în această lucrare şi stabilirea unor concluzii practice ce urmăresc încadrarea optimă a liniilor electrice aeriene în zona de nord a ţării.

Bibliografie

[1] Gary, C. şi Moreau, M. *L'effet de couronne en tension altérnative.* Paris, Eyrolles, 1976.

[3] * * * *Pérturbations engendrées par l'effet de couronne des réseaux de transport. Déscription des phénomènes.* Guide pratique de calcul. Paris, CIGRE, 1974.

[3] Cristescu, D., Ungureanu, M., Hurdubeţiu, S. şi Homoş, M. *Influenţa asupra mediului înconjurător din punct de vedere al perturbaţiilor radio şi zgomot acustic a liniilor electrice aeriene de mare capacitate de transport.* Contract de cercetare ştiinţifică nr. 66/1977, IPB-ISPE.

Caracteristici ale liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune cu mai multe circuite în regim permanent

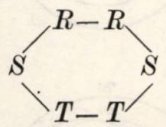
Conf. dr. ing. **Nicolae Golovanov**
Asist. ing. **Sorin Hurdubeţiu**
— Institutul politehnic Bucureşti —

Ing. **Radu Enache**
— ICEMENERG —

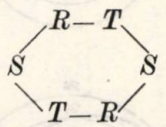
Determinarea parametrilor electrici ai liniilor electrice aeriene prezintă o importanţă deosebită în etapa de proiectare, ca şi la verificarea caracteristicilor liniei. Pe baza caracteristicilor calculate în cadrul lucrării (intensitatea cîmpului electric la suprafaţa conductoarelor, intensitatea cîmpului electric la sol şi la înălţimea de 1,8 m, parametrii de fază şi modali ai liniei), se pot stabili în mod corect pierderile prin descărcarea corona, nivelul de perturbaţii de înaltă frecvenţă, nivelul zgomotului acustic, valoarea supratensiunilor de comutaţie pentru diferite regimuri şi se poate estima influenţa liniei asupra organismului uman.

În cadrul lucrării, determinarea caracteristicilor liniilor electrice aeriene s-a făcut pe baza a trei programe de calcul specializate, concepute şi testate de autori pe calculatorul FELIX C—256. Programele scrise în limbaj FORTRAN pot fi folosite pentru linii cu mai multe circuite (maximum patru circuite trifazate şi două conductoare de protecţie).

Exemplele din cadrul lucrării se referă la o linie dublu circuit avînd tensiunea nominală de 400 kV şi cu două subconductoare pe fază, considerînd diferite variante de dispunere a fazelor. Sînt indicate rezultatele pentru două cazuri:



Varianta I
(super-bundle)



Varianta II
(low-reactance)

1. Calculul intensităţii cîmpului electric la suprafaţa conductoarelor

Programul de calcul pentru determinarea intensităţii cîmpului electric la suprafaţa conductoarelor liniei electrice aeriene se bazează pe metoda sarcinilor echivalente [1]. În figura 1 este prezentată schema logică a acestui program.

În principiu, metoda sarcinilor echivalente constă în înlocuirea distribuţiei superficiale a sarcinilor reale de pe suprafaţa electrozilor prin distribuţii de sarcini discrete plasate în interiorul electrozilor, deci în afara zonei domeniului în care se va calcula ulterior intensitatea cîmpului electric. Alegînd numărul, tipul şi poziţia acestor sarcini, rămîne de determinat valoarea lor din condiţia ca acestea să simuleze corect suprafaţa electrozilor, deci impunînd ca pe frontieră potenţialul realizat de aceste sarcini să genereze suprafaţa echipotenţială care în cazul real este reprezentată de suprafaţa electrozilor. Pentru aceasta se aleg pe frontieră puncte de contur de potenţial cunoscut V_i şi,

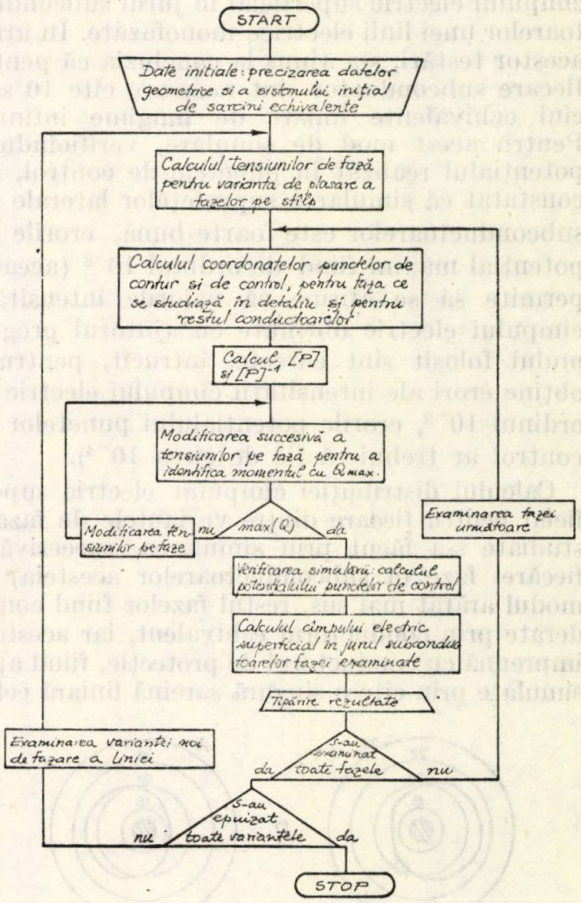


Fig. 1

cu ajutorul coeficienţilor de potenţial P_{ij}, se pot determina valorile sarcinilor din ecuaţia matricială:

$$[P]\{Q\} = \{V\} \qquad (1)$$

Pentru determinarea elementelor vectorului-coloană al necunoscutelor $\{Q\}$, este necesară inversarea matricei $[P]$. După rezolvarea sistemului de mai sus, este util a se verifica modul în care sarcinile $\{Q\}$, cunoscute acum şi ca valoare numerică, simulează suprafaţa de frontieră. În acest scop, pe aceasta se aleg noi puncte, de control, şi se compară potenţialul realizat în aceste puncte cu condiţiile de frontieră. În cazul în care precizia simulării suprafeţelor echipotenţiale nu este satisfăcătoare, se va proceda la modificarea sistemului de sarcini propus iniţial pentru simulare.

După obţinerea sistemului convenabil de sarcini echivalente se poate calcula, cu ajutorul

lor, potențialul sau intensitatea cîmpului electric în oricare dintre punctele domeniului studiat.

Într-o etapă preliminară, cu ajutorul unui alt program de calcul, s-a determinat numărul de sarcini echivalente ce trebuie folosite pentru simularea fiecărui subconductor, astfel încît să se poată determina în mod corect distribuția cîmpului electric superficial în jurul subconductoarelor unei linii electrice monofazate. În urma acestor testări, s-a ajuns la concluzia că pentru fiecare subconductor sînt necesare cîte 10 sarcini echivalente liniare de lungime infinită. Pentru acest mod de simulare, verificîndu-se potențialul realizat în punctele de control, s-a constatat că simularea suprafețelor laterale ale subconductoarelor este foarte bună, erorile de potențial maxim fiind de ordinul 10^{-8} (aceasta permite să se afirme că valorile intensității cîmpului electric obținute cu ajutorul programului folosit sînt corecte, întrucît, pentru a obține erori ale intensității cîmpului electric de ordinul 10^{-2}, erorile potențialului punctelor de control ar trebui să fie de circa 10^{-4}).

Calculul distribuției cîmpului electric superficial pentru fiecare dintre variantele de fazare studiate s-a făcut prin simularea succesivă a fiecărei faze (a subconductoarelor acesteia) în modul arătat mai sus, restul fazelor fiind considerate prin conductorul echivalent, iar acestea, împreună cu conductorul de protecție, fiind apoi simulate prin cîte o singură sarcină liniară echivalentă. Acest mod de simulare a permis obținerea de rezultate corecte, fără a necesita un volum excesiv de memorie ocupată și într-un timp de calcul redus.

Calculele au fost efectuate pentru configurația fazelor la înălțimea minimă față de sol. În cadrul fiecărei variante, calculul a fost efectuat la momente diferite în jurul momentului în care tensiunea fazei examinate este maximă. Pentru fiecare dintre momentele considerate s-a determinat distribuția cîmpului electric în jurul fiecăruia dintre subconductoarele celor șase faze. Astfel a fost posibilă determinarea intensității cîmpului electric superficial în cazul în care tensiunea pe fază este maximă (situație luată în considerare în mod curent în literatura de specialitate), dar și în cazul în care se obține de fapt valoarea reală a intensității maxime a cîmpului electric superficial, și anume în cazul în care *sarcina* fazei examinate este maximă. Rezultatele prezentate în continuare se vor referi la această ultimă situație, în care se obțin rezultate mai corecte decît cele ce se obțin în cazul tensiunii maxime (cu mențiunea că valorile obținute în cele două situații diferă între ele prin maximum 1,46%).

În figurile 2 și 3 sînt prezentat distribuțiile cîmpului electric superifical pe circumferința subconductoarelor liniei examinate. Atît din rezultatele prezentate, cît și din rezultatele altor variante studiate, se remarcă faptul că, din punct de vedere al valorii maxime a cîmpului electric superficial, dispunerea diferită a fazelor

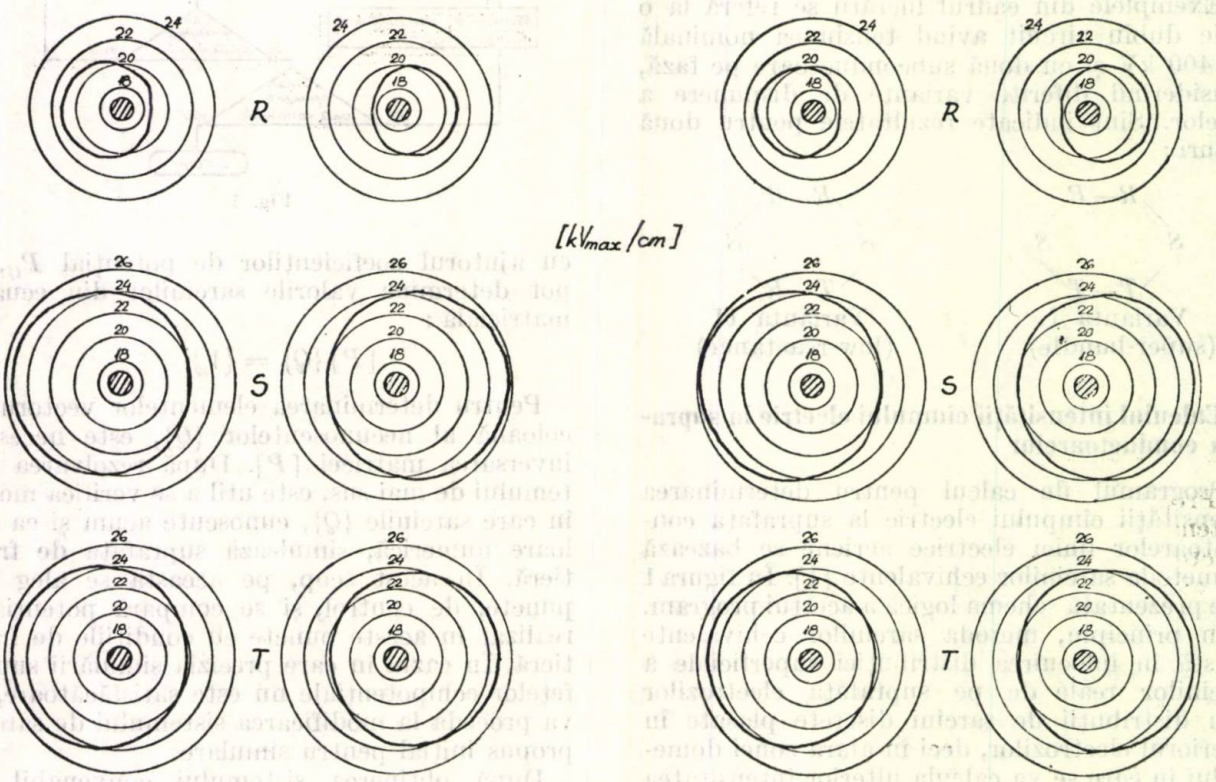


Fig. 2.

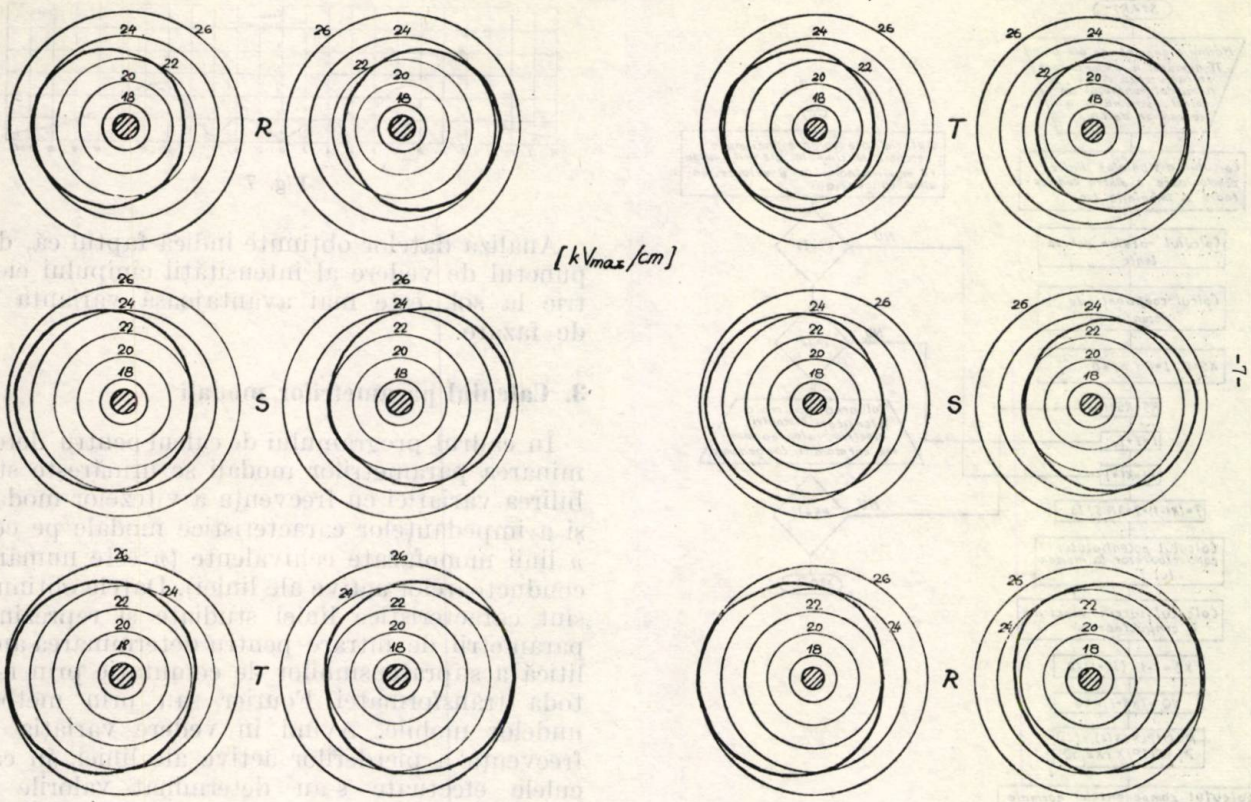


Fig. 3.

liniei nu conduce la variații ale acestui parametru care să prezinte importanță practică deosebită, maximul acestei valori (considerînd toate fazele circuitelor) plasîndu-se în intervalul 25,36—25,98 kV_{max}/cm.

În general, la variantele studiate se remarcă, pe fazele liniei considerate, valori sensibil egale ale intensității cîmpului electric superficial maxim. Totuși se observă la varianta I valori mai scăzute ale intensității cîmpului electric superficial pe cele două faze superioare, ceea ce conduce la efecte negative mai reduse decît cele din cazul variantei II (nivel perturbator radio cu 10 dB/μV/m mai mic, respectiv, un nivel de zgomot acustic cu 4 dB(A) mai redus [2].

2. Calculul intensității cîmpului electric la sol

Programul de calcul pentru determinarea intensității cîmpului electric la sol și la înălțimea de 1,8 m față de sol consideră fiecare dintre conductoarele liniei prin sarcina sa plasată filiform în centrul conductorului de rază echivalentă. Analiza efectuată într-o etapă precedentă a arătat că modelarea corectă a conductorului, ținînd seama de dimensiunile sale reale, nu apare ca necesară în cazul studiului intensității cîmpului electric la o distanță mare de conductoarele liniei.

Fiind stabilite variațiile potențialelor conductoarelor liniei, în domeniul real al timpului, se calculează sarcinile conductoarelor echivalente, plasate în centrul acestora, din ecuația matricială:

$$\{U\} = [\alpha]\{Q\}, \tag{2}$$

unde $[\alpha]$ este matricea coeficienților de potențial.

Intensitatea cîmpului electric în fiecare dintre punctele studiate rezultă pe baza relației:

$$\{E\} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}[R]\{Q\}, \tag{3}$$

în care $[R]$ este matricea distanțelor dintre fiecare din conductoarele echivalente și fiecare din punctele analizate, valori considerate în mărimi complexe.

Valorile maxime ale intensității cîmpului electric, ale componentelor verticale și orizontale ale acestuia sînt obținute prin compararea valorilor la diferite momente.

În figura 4 este indicată schema logică a programului, iar în figurile 5, 6 și 7 curbele obținute pentru exemplul considerat al unui stîlp dublu circuit 400 kV în cele două variante limită, pentru intensitatea maximă a cîmpului electric la sol (fig. 5), intensitatea maximă a cîmpului electric la înălțimea de 1,8 m (fig. 6) și valoarea maximă a componentei orizontale a cîmpului electric la înălțimea de 1,8 m (fig. 7).

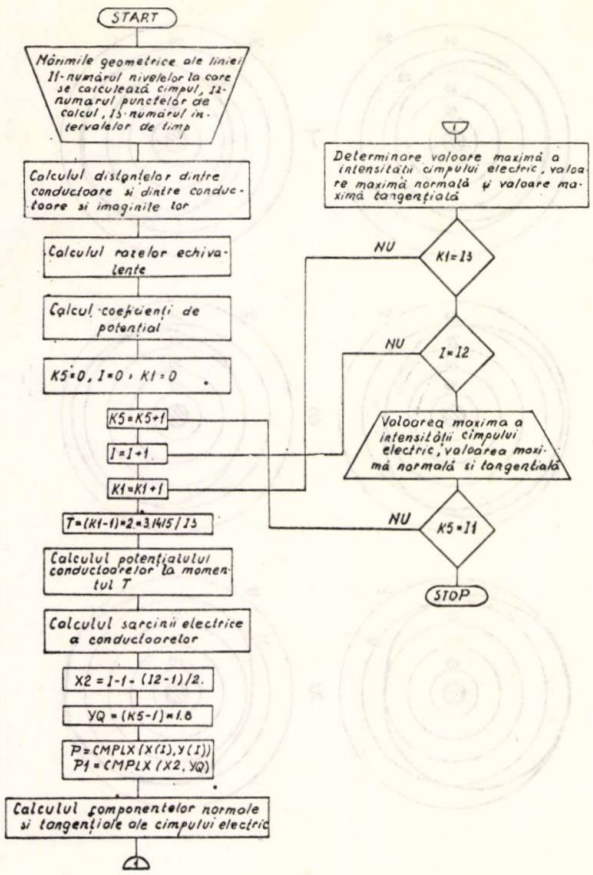


Fig. 4

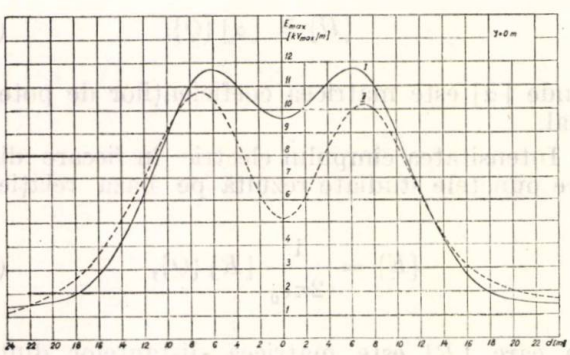


Fig. 5

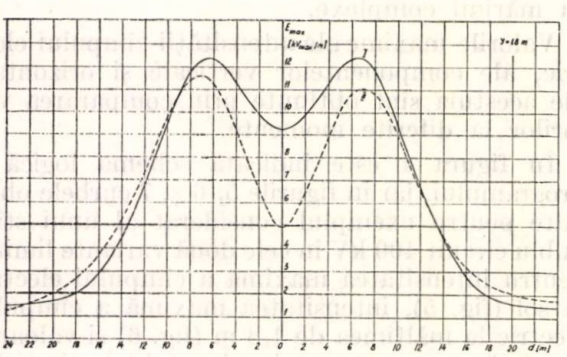


Fig. 6

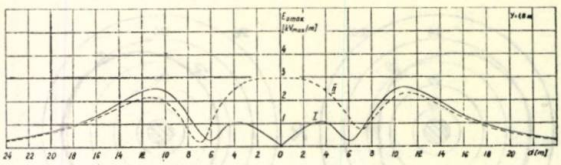


Fig. 7

Analiza datelor obținute indică faptul că, din punctul de vedere al intensității cîmpului electric la sol, este mai avantajoasă varianta II de fazare.

3. Calculul parametrilor modali

În cadrul programului de calcul pentru determinarea parametrilor modali se urmărește stabilirea variației cu frecvența a vitezelor modale și a impedanțelor caracteristice modale pe cele n linii monofazate echivalente (n este numărul conductoarelor active ale liniei). Datele obținute sînt caracteristice liniei studiate și reprezintă parametrii de intrare pentru determinarea analitică a supratensiunilor de comutație prin metoda transformatei Fourier sau prin metoda undelor mobile. Avînd în vedere variația cu frecvența a pierderilor active ale liniei, în calculele efectuate s-au determinat valorile în complex ale parametrilor modali (stabilirea valorilor proprii și vectorilor proprii s-a făcut pe baza programului EISPACK adaptat pentru calculul parametrilor LEA).

Programul de calcul (avînd schema logică indicată în figura 8) permite determinarea parametrilor de fază $[R]$, $[L]$, $[C]$ pe baza ecuațiilor Carson și Pollaczeck [3]. Deoarece în calculul supratensiunilor nu prezintă interes fenomenele care au loc pe conductoarele de protecție, se operează cu ecuațiile de propagare pe cele n conductoare echivalente de parametri reduși, scrise în domeniul imagine al transformatei Fourier

$$\frac{d^2\{U\}}{dx^2} = [\gamma_u^2]\,\{U\}, \tag{4}$$

unde s-a notat

$$[\gamma_u^2] = [Z'][Y'] \tag{5}$$

cu $[Z']$ și $[Y']$ matricele reduse ale impedanțelor lineice longitudinale și, respectiv, ale admitanțelor lineice transversale.

Utilizînd transformarea modală

$$\{U\} = [T_u]\,\{U_m\}$$
$$\{I\} = [T_i]\,\{I_m\} \tag{6}$$

ecuația matricială (4) poate fi scrisă și rezolvată în componente modale

$$\frac{d^2\{U_m\}}{dx^2} = [\gamma_m^2]\,\{U_m\}$$

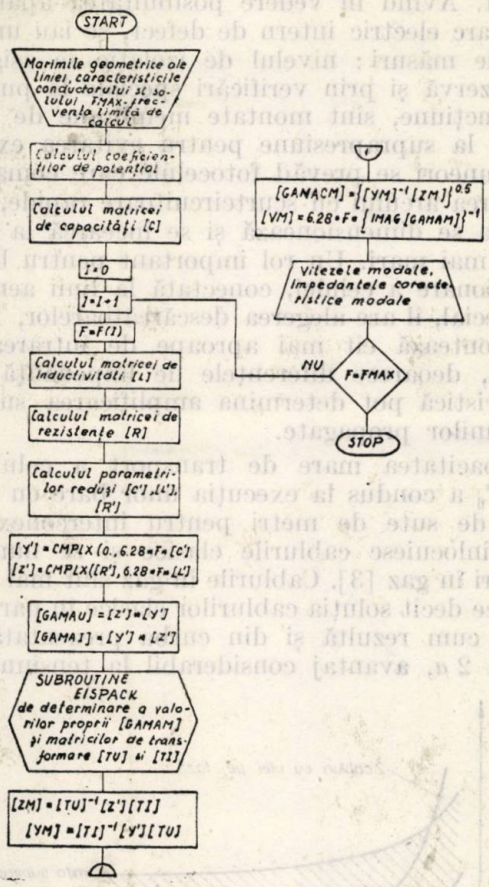


Fig. 8

Vitezele modale V_m şi impedanţele caracteristice modale Γ_{cm}, mărimi ce caracterizează linia, rezultă din relaţiile matriciale:

$$[\Gamma_{cm}] = \{[Y_m]^{-1}\ [Z_m]\}^{0,5}$$

$$\{V_m\} = \omega\{IMAG\ [\gamma_m]\}^{-1}, \qquad (7)$$

unde

$$[Z_m] = [T_u]^{-1}\ [Z']\ [T_i]$$

$$[Y_m] = [T_i]^{-1}\ [Y']\ [T_u] \qquad (8)$$

Concluzii

Programele de calcul prezentate în cadrul lucrării sînt concepute pentru cazul general al liniilor cu mai multe circuite şi luînd în consideraţie dimensiunile reale ale conductoarelor liniei, precum şi pierderile active în funcţie de frecvenţă. Datele obţinute caracterizează fiecare linie şi reprezintă valori iniţiale în stabilirea performanţelor liniei din punctul de vedere al pierderilor prin descărcarea corona, nivelul perturbaţiilor de înaltă frecvenţă, nivelul zgomotului acustic, influenţa asupra organismului uman, nivelul supratensiunilor de comutaţie.

Bibliografie

[1] Singer, H. Steinbigler, H. şi Weiss, P. *A charge simulation method for the calculation of HV fields.* În : IEEE Trans. PAS, nr. 93, 1974, p. 1660—1668.

[2] * * * Edison Electric Institute. *EHV Line Reference Book.* New York, 1978.

[3] Popovici. N., Popescu, A. şi Cristovici, A. *Metodă şi program de calcul al parametrilor liniilor electrice aeriene trifazate.* În : Energetica, 18, nr. 5, 1970, p. 202—209.

Echipamente electroenergetice de distribuţie şi bare capsulate de înaltă tensiune cu SF_6

Ing. Cr. Tr. Bârcă, ing. V. Giurgiu, ing. B.G. Popescu
— ICPE Bucureşti —

Dezvoltarea sistemelor electroenergetice şi creşterea capacităţii de transport, ca urmare a înmulţirii şi măririi consumatorilor, au impus creşterea tensiunilor nu numai în transportul energiei electrice, dar şi în distribuţia acesteia. Impedimentul central în această situaţie l-a reprezentat ancombramentul echipamentului clasic pentru staţiile de distribuţie care urmau să fie implantate la tensiuni peste 110 kV, în apropierea consumatorilor şi în oraşe.

Începînd cu deceniul 7 al secolului, s-a impus ca soluţie pentru aparatajul staţiilor de distribuţie capsularea acestuia şi izolarea cu hexafluorură de sulf. Gabaritul s-a redus faţă de cel clasic de 5—10 ori în volum, iar suprafaţa ocupată de 6 — 12 ori. Simultan s-au evidenţiat şi alte avantaje ale noului echipament, cum sînt: insensibilitatea la poluare, permite extinderea staţiilor existente, durată de viaţă mult mărită, nivel de izolaţie constant în timp, întreţinere foarte redusă şi supraveghere simplă [1].

Evident, dezavantajul preţului mai ridicat a frînat un timp generalizarea soluţiei, dar acum se citează prezenţa în exploatare a peste 5000 celule, iar numărul acestora creşte continuu.

Începînd cu 1980 s-a introdus la IRE Craiova, în exploatare de probă, o celulă de 123 kV, elaborată şi construită prin concepţie proprie de colectivele de la CCSIT „Electroputere"-Craiova şi ICPE-Bucureşti.

Construcţie şi particularităţi

În construcţia celulelor a început să se adopte o linie comună pe plan internaţional, dar se remarcă încă două tendinţe: izolarea fiecărei faze într-o anvelopă separată şi izolarea celor trei faze într-o singură anvelopă. Prima soluţie conferă o siguranţă mai mare, elimină scurt-

circuitul bifazic și trifazic și permite scheme de stații cu gabarit mic prin gruparea fazelor, în timp ce a doua are un gabarit de celulă puțin mai mic (cu 10—15%) și presupune conținut de aluminiu redus. Desigur că și alte deosebiri impun o atentă analiză în alegerea uneia sau alteia din soluții. În R.S.R. s-a adoptat prima variantă, care oferă exploatării avantajul unei supravegheri mai ușoare și manipularea unor module mai mici la montaj și revizii. Unele firme ca „Siemens", BBC și „Toshiba" au realizat la 123 kV celule cu toate aparatele înglobate într-o singură anvelopă, obținîndu-se un gabarit extrem de mic (pasul celulei de circa 1,5 m), dar soluția nu s-a generalizat [2].

Față de schemele clasice, schemele celulelor cu SF_6 conțin în esență două diferențe pe circuitul principal: apariția unui scurtcircuitor rapid de legare la pămînt și înmulțirea separatoarelor de legare la pămînt (fig. 1). Scurt-

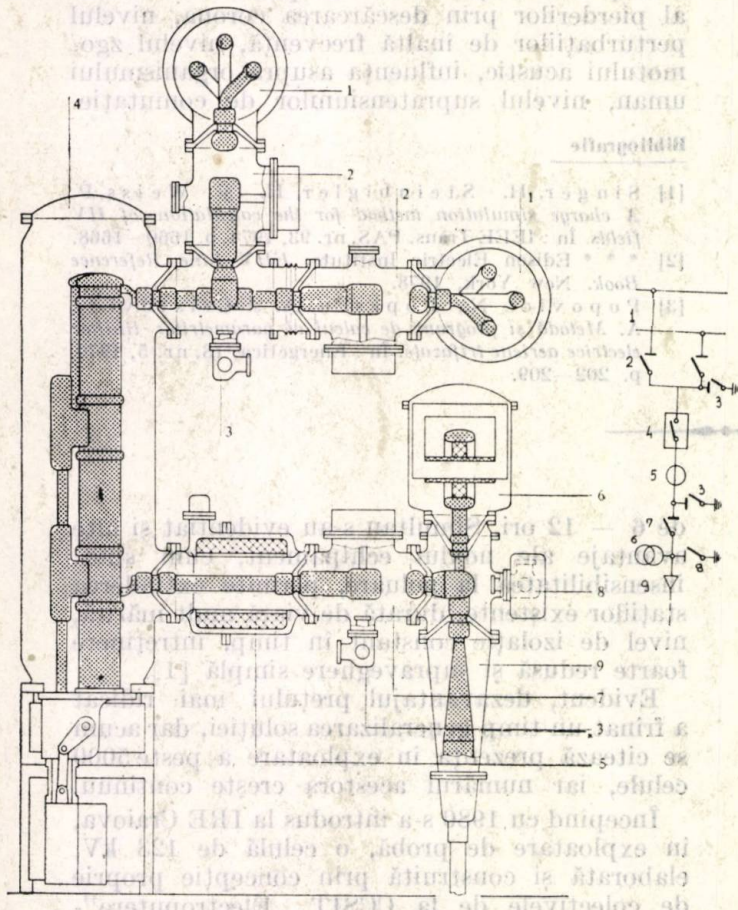


Fig. 1. Secțiune printr-o celulă cu dublu sistem de bare izolată cu SF_6 [BBC].

1 — sistem de bare; *2* — separator; *3* — separator de legare la pămînt; *4* — întreruptor; *5* — transformator de curent; *6* — transformator de tensiune; *7* — separator de linie; *8* — separator rapid de legare la pămînt; *9* — ieșire în cablu.

circuitorul rapid are capacitate de închidere pe scurtcircuit și se montează pe plecări în cabluri (sau linie) pentru descărcarea acestora, pentru evitarea unui accident la deschiderea separatorului de pe plecare și în unele cazuri limitarea efectelor arcului electric intern de defect. Avînd în vedere posibilitatea apariției unui arc electric intern de defect, se iau următoarele măsuri: nivelul de izolație se asigură cu rezervă și prin verificări speciale la punere în funcțiune, sînt montate membrane de protecție la suprapresiune pentru evitarea exploziei, uneori se prevăd fotocelule care comandă șuntarea arcului cu scurtcircuitoare rapide, anvelopa se dimensionează și se încearcă la presiuni mai mari. Un rol important pentru buna funcționare a celulei, conectată la linii aeriene în special, îl are alegerea descărcătoarelor, care se montează cît mai aproape de intrarea în celulă, deoarece diferențele de impedanță caracteristică pot determina amplificarea supratensiunilor propagate.

Capacitatea mare de transport a celulelor în SF_6 a condus la execuția unor bare cu lungimi de sute de metri pentru interconexiuni care înlocuiesc cablurile clasice și se numesc cabluri în gaz [3]. Cablurile în gaz sînt mai economice decît soluția cablurilor clasice în paralel, după cum rezultă și din curba prezentată în figura 2 *a*, avantaj considerabil la tensiuni de

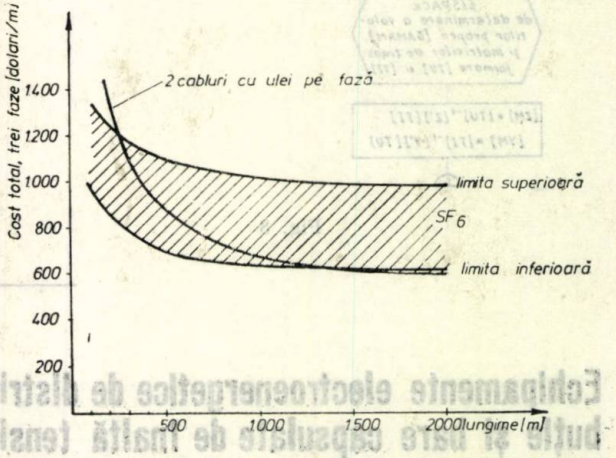


Fig. 2*a*. Comparație între costurile totale pentru cablurile cu ulei și cele cu SF_6, după instalare. U_N = 230 kV [ITE—S.U.A., 1974].

peste 400 kV. Pierderile reactive în cablurile cu gaz sînt și ele mult mai mici decît în cazul cablurilor clasice (de circa 4—5 ori) și mai mici decît la linii aeriene la curenți peste 2000 A (fig. 2 *b*).

Cablurile în gaz au fost aplicate în mai multe situații, dar reprezentative sînt interconexiunile la diferențe mari de nivel și la curenți mari. Dificultățile soluției constau în asigurarea preluării dilatărilor pe lungimi mari și etanșarea perfectă a anvelopei.

Echipamentul cu SF_6 presupune o tehnică specifică de manipulare a gazului. Această manipulare se execută cu instalații mobile speciale și presupune purificarea gazului, umplerea și golirea echipamentului. Înainte de umplerea instalațiilor, acestea se videază un timp de-

terminat pentru eliminarea umidității în special, principalul inamic al nivelului de izolație și al fiabilității (vidul este de ordinul torrilor).

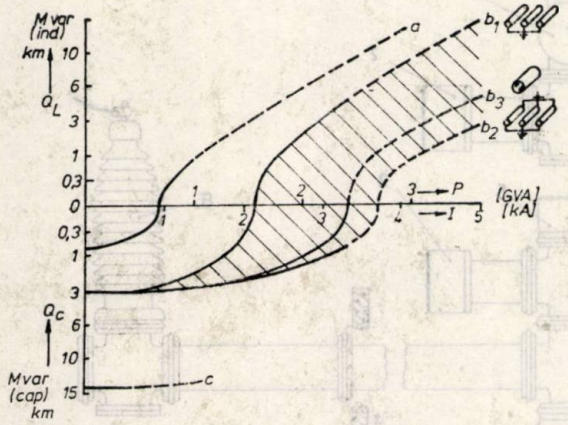


Fig. 2 *b*. Curbele pierderilor reactive pentru diverse sisteme de transport de energie la 420 kV [BBC—Elveția, 1974].

a—linii aeriene; b_1 — cablu cu gaz monofazat fără curent de circulație în anvelopă; b_2 — cablu cu gaz monofazat cu curent de circulație în anvelopă; b_3 — cablu cu gaz trifazat; *c* — cablu convențional.

Nivel de izolare și izolatoare-suport

Nivelul de izolare este corespunzător echipamentelor clasice și se definește pentru densitatea nominală a gazului sau la presiunea nominală legată de o anumită temperatură. De exemplu, celula cu tensiunea nominală de 123 kV, realizată în R.S.R., conține gaz cu presiunea de 2 bar la 20°C (în întreruptor presiunea este mai mare) și are garantat următorul nivel de izolare:

— tensiune de 50 Hz aplicată 1 minut

— față de anvelopă	230 kV_{ef}
— între contactele separatorului	310 kV_{ef}

— impuls de tensiune 1,2/50 μs (STA) 550 kV_{max}

— impuls de tensiune 250/2500 μs (STC) 440 kV_{max}

Acest nivel de izolare se completează cu unul specific celulelor cu SF_6, pentru cazul pierderii complete a gazului pînă la egalarea presiunii interne cu cea atmosferică. În aceste condiții, celula de 123 kV trebuie să suporte 1 minut tensiunea de 50 Hz avînd 106 kV_{ef}. Asigurarea nivelului de izolare trebuie să fie economică în cazul celulelor cu SF_6, alegînd de exemplu o rezervă a izolației de 10%, deoarece este implicat direct costul echipamentului prin gabarit, cantitatea de gaz și grosimea anvelopei. Controlul strîns al nivelului de izolare este posibil ca urmare a configurației cîmpului electric, care prezintă un grad redus de neuniformitate, și datorită faptului că nivelul descărcărilor parțiale este redus foarte mult de hexafluorura de sulf.

Corectarea sau modificarea nivelului de izolare se poate face simplu, prin modificarea presiunii gazului. Evident, reducerea presiunii ca urmare a scăpărilor provoacă scăderea nivelului de izolare. Avînd în vedere acest aspect, se prevăd dispozitive de alarmare la un nivel convenabil al presiunii și sisteme de blocare cînd presiunea continuă să scadă ca urmare a unei avarii.

Față de aceste aspecte ale asigurării nivelului de izolare, constructorul de celule este obligat să urmărească în principal două cerințe:

— reducerea cît mai mult a neuniformității cîmpului electric între electrozi;

— reducerea pierderilor de gaz sub o limită admisibilă normalizată (de exemplu 3% pe an).

Dacă satisfacerea cerinței a doua presupune un sistem sigur de etanșare (garnituri de calitate, acurateță în prelucrări etc.), satisfacerea primei cerințe implică mari eforturi de optimizare a formei electrozilor și izolatoarelor solide, în condițiile unor gabarite limitate (de alte considerente: mecanic, economic, tipizare etc.) și ale unor materiale speciale.

În celula de fabricație românească (fig. 3), aceste deziderate s-au rezolvat prin alegerea unui raport optim al diametrelor electrozilor coaxiali — care sînt anvelopa și calea de curent — precum și prin omogenizarea cîmpului de către izolatoarele-suport conice.

Toate aparatele incluse în anvelopă sînt realizate sub formă cilindrică, cu capete rotunjite, pentru evitarea formării unor surse de descărcări parțiale (fig. 4).

Izolatorul conic are secțiunea longitudinală cu un profil adecvat pentru asigurarea unui cîmp uniform pe suprafață și care să-i confere o rezistență mecanică mare (fig. 5). Pentru izolator s-a elaborat o masă izolantă specială, din rășină epoxidică cu alumină.

Forma izolatorului s-a studiat prin fotoelasticitate în vederea optimizării eforturilor mecanice și prin modelarea cîmpului electric pentru uniformizarea acestuia. În figura 6 se prezintă spectrul cîmpului electric al unui izolator, obținut pe calculator prin metoda elementului finit [4].

Încercările pe modele la scara 1 : 1 au permis corectarea formei și stabilirea unor limite pentru solicitarea dielectrică, astfel încît, la impuls de tensiune 1,2/50 μs, nivelul de ținere a fost stabilit la 610 kV (pentru verificarea proiectării semnificativă este încercarea la impuls de tensiune).

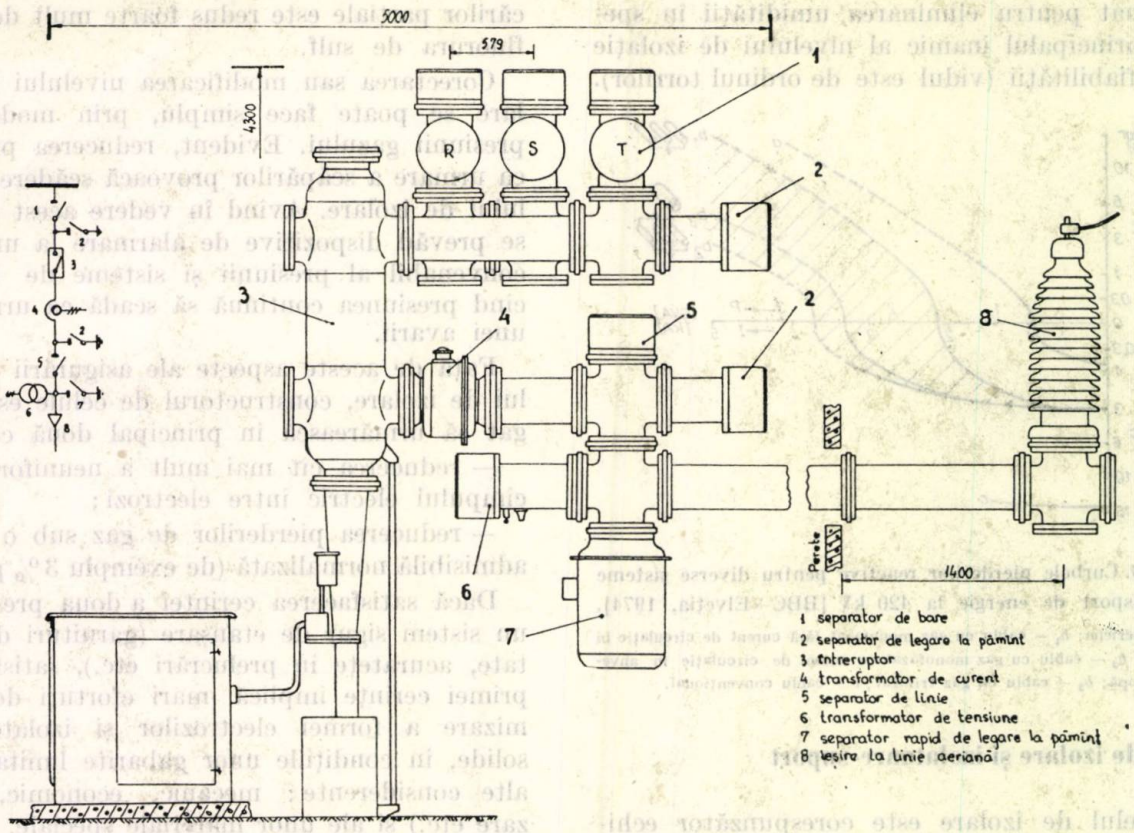


Fig. 3. Celulă de linie în anvelopă metalică cu SF_6, cu un sistem de bare, tip CHKLI, 123 kV.

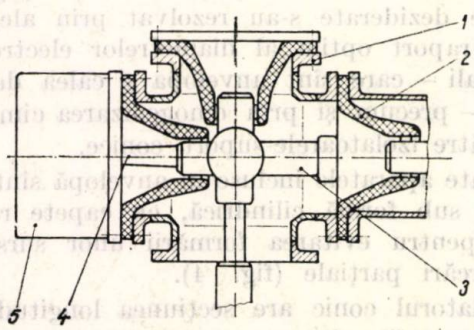


Fig. 4. Separator de linie în anvelopă metalică izolat cu SF_6.
1 — anvelopă metalică; *2* — con izolant; *3* — ramificaţie de legătură; *4* — tijă de antrenare; *5* — dispozitiv de antrenare.

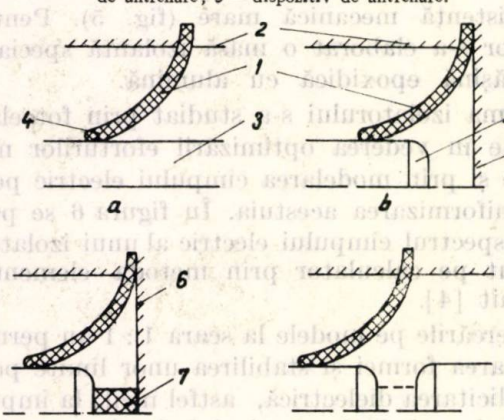


Fig. 5. Montaje tipice ale izolatorului conic în celula cu SF_6.
1 — izolator conic; *2* — anvelopă metalică; *3* — bară metalică (cale de curent); *4* — armătură de izolator conic; *5* — terminal al electrodului central; *6* — capac metalic; *7* — tijă izolantă.

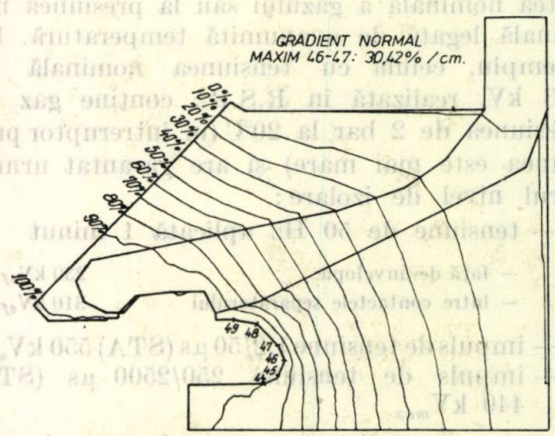


Fig. 6. Liniile echipotenţiale la o configuraţie conform figurii 5 *b*, cu varianta de izolator A.

Concluzii

Celulele sub anvelopă metalică, izolate cu SF_6, reprezintă o soluţie modernă pentru aparatajul de înaltă tensiune, care s-a impus pe plan mondial şi care se adoptă şi în R.S.R. începînd cu anul 1980.

Avantajele esenţiale oferite sînt: gabaritul redus şi fiabilitatea ridicată (durată de viaţă 20—30 ani).

Adoptarea acestei tehnici în reţelele din R.S.R. presupune o şcolarizare a personalului de exploatare şi însuşirea noii concepţii la toate nivelurile pentru fructificarea avantajelor oferite.

Se impun atenției specialiștilor energeticieni, ca o soluție viabilă acum și în R.S.R., cablurile izolate cu SF_6, pentru curenți și tensiuni mari.

Bibliografie

[1] Schmitz, W. *SF_6-Gas im Schaltanlagenbau-Problemlösung für Isolierung und Lichtbogenlösung.* În : ETZ-B, nr. 6, 1972.

[2] Müller, W. *Einpolige und dreipolige Kapselungen fur SF_6- isolierte Hochspannungsanlagen von 123 bis 765 kV.* În : Siemens-Z., 1975, nr. 10, p. 667–671.

[3] Bârcă, Cr. Tr. și Giurgiu, V. *Bare cu izolație în hexafluorură de sulf pentru înaltă tensiune.* Studiu ICPE, martie 1978.

[4] Bârcă, Cr. Tr., Giurgiu, V. și Della-Giacomo, E. *Izolator-suport pentru celula cu SF_6.* A III-a sesiune de comunicări comune IPB – T.H. Darmstad, București, iulie 1980.

Contribuții privind unele metode de calcul ale oscilațiilor forțate ale conductoarelor LEA sub acțiunea vîntului

Ing. **Nicolae Șorea**
– IRE Suceava –

Siguranța în funcționare a instalațiilor electroenergetice – deci și a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune – a devenit o problemă majoră, datorită în special consecințelor tehnico-economice ale întreruperilor, care cauzează pierderi, dintre care unele chiar irecuperabile.

Vîntul este o cauză principală a vibrațiilor conductoarelor, iar vibrațiile sînt la rîndul lor o cauză a suprasolicitărilor ce apar în liniile electrice aeriene, care în anumite condiții pot duce chiar la avarierea sistemului mecanic.

Problema este foarte complexă, deoarece intervin simultan mulți factori activi sau perturbatori, de care este greu de ținut seama în orice moment.

Oscilații LEA datorită acțiunii vîntului

Solicitările dinamice la care sînt supuse conductoarele LEA se datoresc mișcării neuniforme cauzate de forțele exterioare ale vîntului, care sînt variabile în timp.

Majoritatea oscilațiilor care duc la avarii sau întreruperi în funcționarea LEA sînt rezultatul acțiunii unor rafale puternice de vînt, cu variații mari într-un timp relativ scurt.

În anumite condiții datorate : deschiderilor mari, săgeților însemnate, unghiurilor de atac ale vîntului defavorabile profilelor în secțiune ale conductoarelor, în special cînd sînt încărcate cu chiciură și devin instabile sub rafalele de vînt, se creează posibilități de apariție a fenomenului de galopare, care poate duce la apropieri periculoase între faze sau între faze și părțile puse la pămînt.

Durata galopării conductoarelor este o funcție de mulți factori și poate atinge chiar zile întregi, ducînd la avarii grave.

În prezent se caută a se stabili o scriere matematică a fenomenului, pentru a se putea lua măsuri de atenuare mai eficiente.

Între metodele folosite pînă în prezent de calcul al solicitărilor provenite din vînt în rafale, se propune una care să țină seama de acțiunea variabilă în timp a rafalelor, de frecvența proprie a sistemului mecanic, de efectul acoperirii cu chiciură și de toate elementele deschiderii, mai puțin frecările datorate oscilațiilor în ochiurile de prindere pe stîlpi.

Considerînd o deschidere oarecare avînd punctele de prindere a conductoarelor la același nivel, aflată sub acțiunea vîntului perpendicular pe linie, se stabilesc condițiile de echilibru dinamic.

Datorită în special vîntului, ce acționează cu o forță variabilă în timp, conductorul se deplasează într-un plan care formează unghiul variabil (θ) cu planul echilibrului static normal.

La un moment dat, conductorul astfel deviat ajunge într-o poziție de echilibru dinamic relativ.

Pentru acest sistem mecanic se pot scrie ecuațiile de echilibru dinamic ale lui d'Alembert, arătînd că torsorii în centrul de masă a solicitărilor de inerție echilibrează dinamic în orice moment torsorii în același centru de masă ai solicitărilor exterioare și interioare, active și pasive, la care este supus elementul respectiv.

Proiectînd ecuațiile vectoriale ale torsorilor tuturor forțelor pe cele trei axe ale sistemului spațial, se obțin șase ecuații scalare de echilibru dinamic, din care se reține ca semnificative numai trei din planul Y_0Oz_0.

Considerînd o porțiune infinit mică din conductor, notată cu ds – aflată sub acțiunea greutății proprii, a forței variabile provenită din vînt, a forței datorită acțiunii vîscoase a aerului asupra conductorului în mișcare și a forței de inerție din cauza mișcării circulare de pendul –, se stabilesc, funcție de unghiul θ, condițiile de echilibru dinamic în planul y_0Oz_0 – și în raport cu punctul de legătură.

$$q\,ds - N\cos\theta + F_i'\sin\theta - F_c\sin\theta = 0$$

$$F_v(t) - N\sin\theta + F_i\cos\theta + F_c\cos\theta = 0$$

$$-\mathcal{M}_F + \mathcal{M}_q - \mathcal{M}_c + \mathcal{M}_i - \mathcal{M}_r = 0 \qquad (1)$$

unde

q este greutatea liniară a conductorului ;

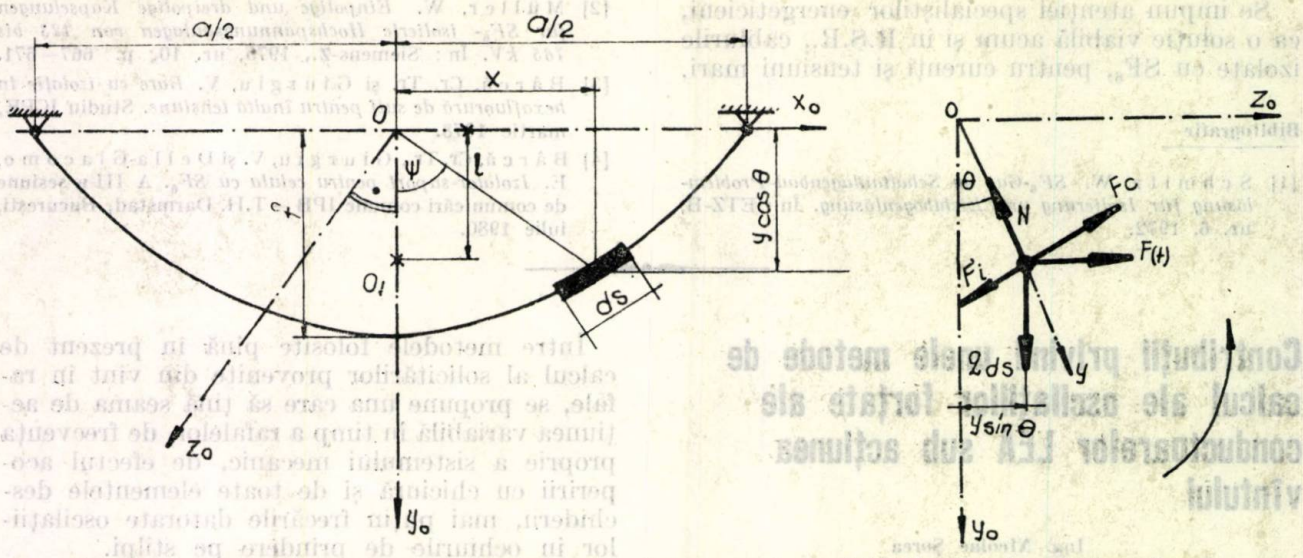


Fig. 1. Scheme de calcul pentru oscilațiile forței disipative ale conductorului LEA aflat în echilibru dinamic.

F_i — forța de inerție datorită rotației cu unghiul θ față de verticală a elementului *ds* aflat la distanța *x* de pol.

$$F_i = m\ddot{\theta}y\,ds, \qquad (1')$$

în care

m este masa liniară a conductorului

$\ddot{\theta}$ — accelerația unghiulară;

y — distanța în planul Y_0Z_0 între polul de rotație și centrul de masă al elementului *ds*;

θ — unghiul între conductorul deviat și cel vertical;

ds — lungimea porțiunii de conductor luat în calcul;

F_c — forța aerodinamică datorată acțiunii vitezei conductorului asupra aerului; este o forță de rezistență vîscoasă ce acționează asupra suprafeței conductorului;

$$F_c = C \cdot d \cdot ds, \qquad (1'')$$

în care

C — componenta frontală a forței aerodinamice a rezistenței vîscoase ce acționează pe unitatea de suprafață a conductorului;

d — diametrul conductorului;

$$C = -K \cdot V_\tau = -k \cdot \dot{\theta} \cdot y \qquad (1''')$$

unde

$\dot{\theta}$ — viteza unghiulară;

K — coeficient de proporționalitate determinat de obicei experimental.

Din ecuația de echilibru (1) rezultă pentru *K* valoarea:

$$K = \frac{F(t)\cos\theta - (q \cdot \sin\theta + m\ddot{\theta}y)ds}{y\dot{\theta}}$$

Din explicitarea elementelor ecuațiilor de echilibru rezultă:

$F_v(t)$ — forța de încărcare datorită acțiunii variabile în timp a vîntului:

$$F_v(t) = F(t) \cdot ds, \qquad (1^{IV})$$

în care

$F(t)$ — încărcarea liniară uniformă funcție de timp;

N — reacția în conductor;

$\mathcal{M}_F$ — momentul datorat forței perturbatoare variabile în timp datorită solicitărilor dinamice

$$\mathcal{M}_F = F(t) \cdot ds \cdot y \cdot \cos\cdot\theta; \qquad (1^{V})$$

$\mathcal{M}_q$ — momentul datorat forței greutății conductorului:

$$\mathcal{M}_q = q \cdot y \cdot ds \cdot \sin\theta \qquad (1^{VI})$$

$\mathcal{M}_c$ — momentul datorat amortizării:

$$\mathcal{M}_c = c \cdot d \cdot y \cdot ds \qquad (1^{VII})$$

$\mathcal{M}_i$ — momentul datorat forței de inerție:

$$\mathcal{M}_i = m \cdot \ddot{\theta} \cdot y^2 \cdot ds; \qquad (1^{VIII})$$

$\mathcal{M}_r$ — momentul datorat forțelor de frecare în locul de prindere (frecarea fiind mică se poate neglija):

$$\mathcal{M}_r = 0$$

Avînd în vedere ecuațiile de echilibru, rămîne în discuție, cu semnificații importante, ecuația de echilibru dinamic a momentelor:

$$m\ddot{\theta}y^2ds + q\sin\theta y ds - cdyds - F(t)y\cos\theta\,ds = 0 \qquad (2)$$

Ținînd seama de semnificația forței de rezistență frontală a aerului datorită vitezei de

deplasare, împărțind totul prin $y.ds$ și integrînd în raport cu coarda elementului, se obține:

$$m\ddot{\theta}\, l + q \sin\theta + \dot{\theta} K.dl = F(t)\cos\theta, \quad (3)$$

care se mai poate scrie:

$$\ddot{\theta} + \dot{\theta}\frac{Kd}{m} + \frac{q}{ml}\sin\dot{\theta} = \frac{F(t)}{ml}\cos\theta \quad (4)$$

Întregul sistem reprezintă un pendul în mișcare și pentru care se poate calcula lungimea echivalentă.

Cunoscînd, de la mișcarea vibratorie, că elongația la un moment dat este dată de relația

$$Y = f\cos\psi, \quad (5)$$

unde f este amplitudinea — în acest caz săgeata maximă;

$$\psi = \omega \cdot t, \quad (6)$$

în care

ω este pulsația;

ψ — unghiul format de tangenta la ds și orizontală sau unghiul la centru între f și ds, faza mișcării oscilatorii.

În același timp, lungimea brațului y este o funcție de depărtare față de centrul deschiderii în care s-a considerat originea axelor — pentru ca elementul ds să rămînă mereu pe curba funiculară a conductorului.

Notînd cu x distanța variabilă pe OX_0 de la origine pînă la proiecția pe această axă a elementului ds — se poate stabili legătura între viteza deplasării undei de vibrație și timpul necesar.

Legătura între lungimea de undă, viteză, perioadă, deplasare și timp este:

$$x = Vt$$

$$\lambda = V \cdot T$$

Considerînd că toată lungimea deschiderii vibrează cu o jumătate de lungime de undă $\left(a = \frac{\lambda}{2}\right)$, atunci unghiul de fază se poate scrie funcție de pulsație, timp, perioadă și deplasare față de origine:

$$\psi = \omega t = \frac{2\pi}{T}\, t = \frac{2\pi}{T}\cdot\frac{x}{V} = \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi x}{a} \quad (7)$$

Înlocuind în (5), se obține:

$$y = f\cdot\cos\frac{\pi x}{a}$$

Lungimea de lucru pentru întregul conductor care lucrează ca un pendul echivalent este funcție de y:

$$l = \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} y^2 ds \cdot \left(\int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} y\, ds\right)^{-1} \quad (8)$$

Înlocuind și ținînd seama de locul unde au originea axele de coordonate, rezultă:

$$ds = \frac{1}{\cos\psi}\, dx = \frac{1}{\cos\frac{\pi x}{a}}\, dx \quad (9)$$

rezultă:

$$l = \frac{\int_0^{+\frac{l}{2}} f^2 \cos^2\frac{\pi x}{a}\,\frac{1}{\cos\frac{\pi x}{a}}\,dx}{\int_0^{+\frac{a}{2}} f\cos\frac{\pi x}{a}\,\frac{1}{\cos\frac{\pi x}{a}}\,dx} = \frac{2f}{\pi} \quad (10)$$

Rezultatul este foarte aproape ca valoare de lungimea brațului de la pol la centrul de greutate pentru o curbă arc de cerc, la care raza este însăși săgeata maximă (f) și pentru un unghi la centru egal cu ψ radiani.

Aceasta corespunde cazului de față, dacă se ia în considerare originea în O a sistemului, iar unghiul ψ la centru format între planul Y_0Oz_0 și elementul ds aflat pe curba lănțișorului într-o poziție oarecare.

Făcînd notațiile:

$$q = mg \qquad \omega^2 = \frac{q}{ml} = \frac{g}{l} \quad (11)$$

ω fiind frecvența oscilațiilor libere în cazul ecuațiilor liniare

$$\frac{K\cdot d}{m} = 2\alpha\,\omega, \quad (12)$$

$\alpha = \frac{Kd}{2m\omega}$ reprezintă indicatorul amortizării.

În acest caz ecuația (4) devine:

$$\ddot{\theta} + 2\alpha\,\omega\dot{\theta} + \omega^2\sin\theta = \frac{F(t)\cos\theta}{ml} \quad (13)$$

Se observă că oscilațiile forțate ale conductorului, ținînd seama de toate elementele, sînt descrise de o ecuație diferențială neliniară.

Trebuie eliminați $\sin\theta$ și $\cos\theta$, care se descompun în serie, luînd pentru $\sin\theta$ primii doi termeni, iar pentru $\cos\theta$ — numai primul termen.

În general, și oscilațiile pendulului simplu sînt oscilații neliniare, dar care pentru oscilații mici se liniarizează prin înlocuirea sinusului prin argument, dînd ecuația de oscilație liniară obișnuită.

Pentru vibrațiile neliniare perioada nu mai este o caracteristică a sistemului, ci este funcție de amplitudine, deci de condițiile inițiale.

După procedeul enunțat folosind anologie cu pendulul simplu, se obține:

$$\ddot{\theta} + 2\,\alpha\,\omega\,\dot{\theta} + \omega^2\left(\theta - \frac{\theta^3}{6}\right) = \frac{F(t)}{m\,l}\cos\theta \qquad (14)$$

Considerînd forța perturbatoare de forma $F(t) = F_0 \cos pt$ și derivata sa $F(t) = F_0 \sin pt$ și notînd cu F_0 — amplitudinea încărcării provenite din vînt, se pot scrie substituțiile

$$\frac{F_0}{ml} = M \quad \text{și} \quad \frac{F_0'}{ml} = N \qquad (14')$$

Ecuația (14) devine:

$$\ddot{\theta} + 2\alpha\,\omega\dot{\theta} + \omega^2\left(\theta - \frac{\theta^3}{6}\right) = M\cos pt - N\sin pt \qquad (15)$$

Ecuațiile (14) și (15) sînt ecuații diferențiale de tip Duffing, iar rezolvarea se face prin aproximații succesive pe cale grafică.

În cazul vibrațiilor forțate, rezonanța se produce la diverse frecvențe funcție de amplitudinea vibrației.

Semnul minus din caracteristica elastică arată o caracteristică moale sau slabă. Iterația începe de la soluția mișcării armonice liniare.

Se consideră că mișcarea $\theta = f_i(t)$ se face după o lege armonică care are frecvența forței perturbatoare.

Se admite ca soluție în prima aproximație:

$$\theta = \theta_1 = A\cos pt, \qquad (16)$$

unde A este amplitudinea unghiului.

Făcînd introducerea soluției θ în ecuație, se obține ecuația pentru aproximația a doua:

$$Ap^2\cos pt - 2\,\alpha\,\omega Ap\,\sin pt + \omega^2\left(A\cos pt) - \frac{A^3\cos^3 pt}{6}\right) = M\cos pt - N\sin pt \qquad (17)$$

Făcînd substituția

$$\cos^3 pt = \frac{1}{4}\cos 3\,pt + \frac{3}{4}\cos pt$$

și neglijînd termenul mic în $\cos^3 pt$, cu separarea variabilelor, rezultă două ecuații:

$$A(\omega^2 - p^2) - \frac{A^3\omega^3}{8} = M \qquad (18)$$

$$2\,A\,\alpha\,\omega p = N \qquad (19)$$

Ecuația (17) reprezintă ecuația de echilibru dinamic între forța de inerție, forța de amortizare vîscoasă, forța elastică și cea perturbatoare variabilă, pentru orice timp.

Egalitățile (18) și (19) arată că în cazul în care există amortizare, deci $\alpha \neq 0$, mișcarea periodică nu poate exista fără acțiunea forței exterioare de excitație, deoarece amplitudinea A este nulă cînd termenii M și N sînt nuli.

$$A = 0 \text{ cînd } M = N = 0.$$

Legătura între amplitudinea (F_0) a forței exterioare și amplitudinea (A) a unghiului θ, precum și între pulsația (p) a forței exterioare se obține din ecuațiile (18) și (19), prin ridicare la pătrat și însumare.

$$\left[A(\omega^2 - p^2) - \frac{A^3\omega^2}{8}\right]^2 + 4A^2\,\alpha^2\,\omega^2\,p^2 = M^2 + N^2 = Q^2 \qquad (20$$

Pentru a lucra mai convenabil se notează expresia:

$$\left[A(\omega^2 - p^2) - \frac{A^3\omega^2}{8}\right]^2 = R^2 \qquad (20')$$

Atunci se poate scrie:

$$R^2 + 4\alpha^2\omega^2p^2A^2 = Q^2 \qquad (21)$$

În aceste condiții, soluționarea ecuației (21) în raport cu amplitudinea (A) este dificilă chiar și prin metoda grafică utilizată pentru punerea în evidență a discontinuității amplitudinii (A) a unghiului, ca răspuns la variația pulsației de excitație (p). De aceea factorul de amortizare (α) are o valoare suficient de redusă, ceea ce corespunde realității, deoarece vitezele de deplasare nu sînt mari; atunci forma curbei de rezonanță (A și p) se apropie de cea a circuitului nedisipativ, cu mențiunea că cele două ramuri se întîlnesc la o valoare finită a pulsației.

Prin încercări succesive pentru diferite valori ale forțelor exterioare, ecuația (21) permite construirea curbelor de amplitudine ale unghiurilor de deviere a conductorului.

Caracteristica dată de semnul minus este „moale" pentru elementul elastic al cazului prezentat.

Amplitudinile (A) ale unghiului de rotaţie (θ) se obţin din ecuaţia (21), funcţie de diferite amplitudini ale sarcinii exterioare variabile.

Cu cît este mai mare valoarea amplitudinii încărcării exterioare, cu atît mai sus este amplitudinea curbei.

Pentru studiul discontinuităţii amplitudinii răspunsului forţat la variaţia pulsaţiei exterioare, se impune găsirea pulsaţiei care să satisfacă condiţia :

$$\frac{dA}{dp} = \infty \quad \text{sau} \quad \frac{dp}{dA} = 0$$

Pentru a găsi locul geometric al punctelor de tangenţă a tangentelor de verticală trebuie să se diferenţieze ecuaţia (20) în raport cu A şi apoi să se egaleze cu zero.

$$A\left[\left(\omega^2 - p^2 - \frac{\omega^2}{8}A^2\right)\left(\omega^2 - p^2 - \frac{3\omega^2}{8}A^2\right) + 12\ \alpha^2\omega^2 p^2\right] = 0 \qquad (22)$$

Soluţia $A = 0$ fiind banală, prezintă interes numai rădăcinile ecuaţiei.

$$\left(\omega^2 - p^2 - \frac{\omega^2}{8}A^2\right)\left(\omega^2 - p^2 - \frac{3\omega^2 A^2}{8}\right) + 12\,\alpha^2\,\omega^2\,p^2 = 0 \qquad (23)$$

Dacă se diferenţiază ecuaţia (20) în raport cu p şi se egalează cu zero, rezultatul determină locul geometric al punctelor de tangenţă a tangenţelor orizontale pe vîrfurile maxime pentru $\frac{dA}{dp} = 0$

$$p^2 + \frac{\omega^2}{8}A^2 = \omega^2(1 + 2\,\alpha^2) \qquad (24)$$

Ecuaţia (24) obţinută este o curbă de ordinul 2, are forma curbei de amplitudine a oscilaţiilor libere şi tinde către aceasta cînd p tinde la zero.

Soluţiile ecuaţiei (23) sînt reprezentate în figura 2, în planul ($|A|$; p) sub forma unor curbe cu linie punctată.

Dacă sistemul nu este disipativ sau slab disipativ, se ajunge de la ecuaţia (23) la forma :

$$\left(\omega^2 - p^2 - \frac{\omega^2}{8}A^2\right)\left(\omega^2 - p^2 - \frac{3}{8}A^2\right) = 0, \qquad (25)$$

care reprezintă ecuaţiile hiperbolelor :

$$\omega^2 = p^2 + \frac{3\omega^2 A^2}{8}$$

$$\omega^2 = p^2 + \frac{\omega^2 A^2}{8} \qquad (26)$$

care sînt asimptote ale curbei aferente ecuaţiei (23).

Curbele de răspuns ale vibraţiilor neliniare forţate şi amortizate sînt asemănătoare cu cele ale vibraţiilor liniare, deoarece nici ele nu cresc la infinit, ci sînt atenuate.

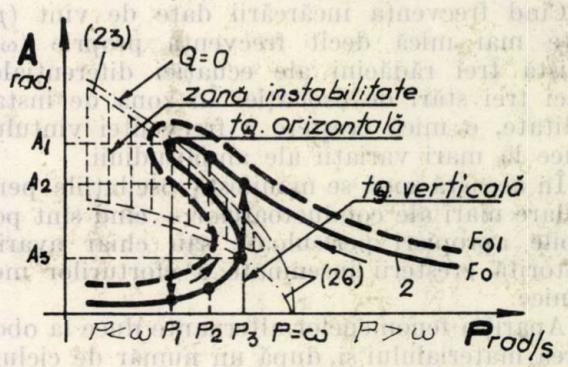


Fig. 2. Diagrama curbelor de oscilaţie a sistemului forţat disipativ cu caracteristica moale.

Pentru a studia variaţia amplitudinii (A) a vibraţiei cînd pulsaţia p a forţei perturbatoare ia diverse valori, ştiind că sistemul are o caracteristică moale, se dă o creştere continuă dar lentă pulsaţiei (p).

Se observă că, pînă cînd curba admite o tangentă verticală, amplitudinea (A) creşte continuu ; din acest punct ea creşte brusc, oprindu-se pe ramura a doua a curbei, cunoscînd în continuare o scădere a amplitudinii.

Dacă se parcurge curba *2* în sens invers, atunci, odată cu scăderea pulsaţiei (p), creşte amplitudinea (A), pînă cînd curba aceasta admite o tangentă verticală, cînd amplitudinea coboară brusc, evoluînd în continuare pe curba *1*.

Această zonă de salturi, cînd amplitudinea (A) creşte sau scade brusc pentru aceleaşi valori ale pulsaţiei (p), reprezintă zona de instabilitate, care este determinată de tangentele verticale la curbele de răspuns.

Zona pe verticală pentru valorile amplitudinilor (A) cuprinse între proiecţia pe ordonate a primului punct de tangentă verticală al ramurii *1* şi proiecţia pe ordonată a punctului de la tangenta verticală a ramurii *2*, este zona de instabilitate a amplitudinii vibraţiilor conductoarelor.

Fiecare curbă de amplitudine are însă numai o singură tangentă orizontală, iar punctul de tangenţă $A(p)$ este un maxim.

Curba medie notată cu linie-punct se determină din formula (20) făcînd pe $Q = 0$ şi considerînd amortizarea nulă, neînsemnată.

În cazul încărcării exterioare apropiată de cea armonică, oscilaţiile pendulare ale conductoarelor se pot deci descrie cu ajutorul unei ecuaţii de tip Duffing — ceea ce înseamnă înţelegerea instabilităţii. Pentru trasarea curbelor de răspuns de vibraţie se trasează curbe

pentru $Q=0$ și cele două pulsații egale ($p=\omega$) pentru condiții de rezonanță.

Se construiește apoi o curbă avînd o amplitudine a forței perturbatoare apropiată de valorile mici posibile, iar celelalte curbe se trasează ca multipli ai acesteia.

Cînd frecvența încărcării date de vînt (p) este mai mică decît frecvența proprie (ω), există trei rădăcini ale ecuației diferențiale, deci trei stări de oscilație. În zona de instabilitate, o mică creștere a frecvenței vîntului duce la mari variații ale amplitudinii.

În această zonă se manifestă oscilațiile pendulare mari ale conductoarelor — cînd sînt posibile apropieri periculoase sau chiar avarii, datorită creșterii însemnate a eforturilor mecanice.

Apariția fenomenelor alternante duce la obosirea materialului și, după un număr de cicluri specifice fiecărui tip de conductoare, se produc avarii prin rupere.

Dacă pe conductor se depune chiciură sau polei, care mărește acest diametru cît și sarcina verticală datorită greutății suplimentare, modifică comportarea aerodinamică în acest caz, toți acești factori înrăutățesc și mai mult condițiile de stabilitate.

Odată cu apariția chiciurii pe conductor se modifică și pulsația proprie, deci alte condiții vor guverna stabilitatea sistemului.

Cînd frecvența încărcărilor din vînt este mai mare decît cea proprie, rezultă valori stabile pentru amplitudinile vibrațiilor.

Momentul cel mai periculos este cînd frecvențele vîntului se apropie de cele proprii ale sistemului sau puțin mai mici ca acestea.

Pentru trasarea corectă a tuturor posibilităților de încărcare, cît și a diverselor tipuri de conductoare, deschideri și săgeți, este necesară trecerea pe calculator a acestor operații laborioase și, după trasarea curbelor și stabilirea zonelor de instabilitate, se pot lua măsuri de diminuare a amplitudinii de răspuns a sistemului de vibrații, mărind în acest fel siguranța în exploatare.

Bibliografie

[1] Bercovici, M. și Arie, A. *Rețele electrice — calculul mecanic.* Editura tehnică, București, 1963.

[2] Buzdugan, Gh., Mihăilescu, E. I. și Radeș, M. *Măsurarea vibrațiilor mecanice.* Editura Academiei R.S.R., București, 1979.

[3] Buzdugan, Gh., Fetcu, L. și Radeș, M. *Vibrațiile sistemelor mecanice.* Editura Academiei R.S.R., București, 1975.

[4] Claren, R., Curami, A., Riva, R., Giacomo, G. și Nicolini, R., *Wake-induced oscillations in bundle systems* — part I—II, IEEE — PES Winter—Meeting 1977, New York.

[5] Dincă, F. și Teodosiu, C. *Vibrații neliniare și aleatoare.* Editura Academiei R.S.R., București, 1969.

[6] Haimovici, A. *Ecuații diferențiale și ecuații integrale.* Editura didactică și pedagogică, București, 1965.

[7] Harțag, D. *Mechanical vibration.* New York, 1956.

[8] Mangeron, D. și Irimiciuc, N. *Mecanica rigidelor cu aplicații în inginerie,* vol. I, II. Editura tehnică, București, 1978/1980.

[9] Rădoi, M., Deciu, E. și Voiculescu, D. *Elemente de vibrații mecanice.* Editura tehnică, București, 1973.

[10] Savin, Gh. și Rosman, H. *Circuite electrice neliniare și parametrice.* Editura tehnică, București, 1973.

[11] Șorea, N. *Contribuții privind creșterea gradului de siguranță a LEA de înaltă tensiune la apariția fenomenului de galopare.* M.E.I.—I.P. 1181 — ME-ICCEE — CIRE, octombrie 1978.

[12] Sorea, N. *Vibrațiile proprii și forțate ale conductoarelor LEA de I.T.— Măsuri de limitare a efectelor dăunătoare.* Sesiune comunicări IRE Suceava — 1978.

[13] Tiscenko, T. A. *Nekotorîe voprosi kolebanie vozdușnih linii elektroperedaci.* Naucinoe soobșceniia, 1978.

Recenzii

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE. **Asupra prevederilor normativului privind combaterea efectului de flicker în rețelele electrice de distribuție.** PE 142/80.

În categoria noilor normative cu valabilitate departamentală apărute în anul 1980, și care vizează calitatea energiei electrice furnizate consumatorilor, este și normativul PE 142/80 privind combaterea efectului de flicker în rețelele electrice de distribuție.

Elaborat de ISPE și aprobat cu Ordinul M.E.E. nr. 1157/1979, normativul la care ne referim a intrat în vigoare începînd cu data de 1 februarie 1980. Cuprinzînd 4 capitole și 3 anexe, normativul definește efectul de flicker, dă indicații asupra modului de predeterminare a nivelului de flicker produs de receptoarele perturbatoare ce urmează a fi instalate în rețelele electrice de distribuție ale sistemului electroenergetic, expune modul de determinare a nivelului de flicker în instalațiile existente și prezintă principalele soluții privind combaterea efectului de flicker.

Capitolul 1 al normativului cuprinde generalitățile referitoare la fenomenul de flicker, prezentînd receptoarele perturbatoare ce produc flickerul (cuptoare electrice cu arc, laminoare, aparate de sudare, pompe și compresoare cu piston etc.), precum și consecințele acestui fenomen așa cum se resimt de alți consumatori din rețelele de distribuție a energiei electrice: variația fluxului luminos al surselor de iluminat, deformarea imaginii televizoarelor, deranjamente în funcționarea unor instalații electronice ș.a.

În acest prim capitol se prezintă, de asemenea, scopul și domeniul de aplicare a normativului, se dau noțiunile și definițiile utilizate în conținutul său și se fac trimiteri la alte normative.

Este de remarcat faptul că normativul la care ne referim nu are un precedent în țara noastră. Pentru a nu deranja consumatorii casnici prin efect de flicker

provocat de utilajele de sudare, în țara noastră au fost totuși promovate, încă din anul 1970, reglementările cunoscute sub denumirea de *„Instrucțiuni privind alimentarea cu energie electrică din rețelele electrice de distribuție a utilajelor de sudare — IU — I 21—70"*. Normativul PE 142/80 face, într-adevăr, trimitere la aceste instrucțiuni, dar nu și la alte normative aflate în contingență cu producerea fenomenului de flicker și care tratează fenomenele deformante și de asimetrie a fazelor — preponderente, de exemplu, în cazul cuptoarelor electrice cu arc. Aceasta cu atît mai mult cu cît normativul se ocupă în mod deosebit de cuptoarele electrice cu arc ca principale receptoare care produc efectul de flicker. Fenomenul de flicker nu apare însă singular, ci însoțit și de fenomenele amintite. Interesante și utile ar fi fost referirile la fenomenele complexe și combinate care apar în cazul cuptoarelor electrice cu arc, precum și la căile de diminuare a acestor efecte în ansamblul lor, cu interdependența lor etc.

Ar fi util, credem, să se prevadă în normativ (la o nouă redactare) ca datele furnizorului de echipamente perturbatoare, ce trebuie transmise utilizatorului, să ajungă și la furnizorul de energie electrică concomitent cu cererea pentru obținerea acordului privind alimentarea cu energie electrică a noilor obiective.

Capitolul 2 al normativului se ocupă de predeterminarea nivelului de flicker produs de receptoarele perturbatoare. Acest calcul este prevăzut a fi efectuat în cadrul studiilor și proiectelor de execuție, care cuprind racordarea la rețelele sistemului electroenergetic a unor receptoare perturbatoare.

În acest scop furnizorul de echipamente (receptoare perturbatoare) trebuie să pună la dispoziția utilizatorului datele tehnice principale prevăzute în anexa A a normativului la care ne referim. Este de observat că anexa A se referă la două dintre principalele receptoare ce produc fenomenul de flicker: cuptoarele electrice cu arc și laminoarele.

După cum se arată și în partea introductivă a normativului, cuptoarele electrice cu arc și laminoarele nu sînt singurele receptoare care provoacă fluctuații de tensiune în rețelele electrice de alimentare. Din această cauză anexa A nu ar trebui concepută ca limitativă, ci ar trebui să conțină, credem, și referiri de principiu cu privire la datele necesare de transmis pentru orice alte receptoare ce pot contribui la producerea fenomenului de flicker.

Din punctul de vedere al predeterminării nivelului de flicker produs de receptoarele perturbatoare, normativul are în vedere două categorii de asemenea receptoare: cele cu șocuri de puterere activă, avînd un caracter ciclic — cum ar fi, de exemplu, pompele și compresoarele cu piston, sau receptoarele ale căror șocuri au un caracter previzibil (cazul laminoarelor) — și receptoarele cu șocuri aleatorii de putere reactivă, între care cel mai reprezentativ caz fiind acela al cuptorului electric cu arc pentru topit oțel.

Pentru prima categorie de receptoare, acceptabilitatea într-o anumită rețea se apreciază prin curba fluctuațiilor de tensiune care trebuie să se situeze sub curba limită de iritabilitate (fig. 1 din normativ). Fluctuația de tensiune se determină cu relația:

$$\Delta U_{fi} = \frac{Q_{soc\ i}}{S'_k} \cdot 100 \left[\frac{\text{MVAr}}{\text{MVA}}\right], \qquad (1)$$

în care $Q_{soc\ i}$ reprezintă șocul de putere reactivă produs cu frecvența i, recalculat pentru bara critică (bara din rețeaua de alimentare a unui receptor perturbator la care sînt racordați și alți consumatori de energie electrică, a căror funcționare ar putea fi deranjată de receptorul respectiv);

S'_k — puterea de scurtcircuit minimă în punctul comun de racord (bara critică), calculată cu reactanțe tranzitorii.

Pentru a doua categorie de receptoare (cu șocuri aleatorii de putere reactivă), factorul de acceptabilitate într-o rețea (cazul cuptorului cu arc electric) se calculează cu relația:

$$\lambda = \frac{S_t}{S_k}, \qquad (2)$$

în care S_t reprezintă puterea de scurtcircuit a cuptorului, după datele furnizorului, rezultatele testului de scurtcircuit, sau determinată prin calcul;

S_k — puterea de scurtcircuit minimă calculată cu reactanțe supratranzitorii, în punctul comun de racord (bara critică).

Pentru a putea evita producerea flickerului de către un cuptor cu arc electric și cu exploatare clasică, valorile lui λ trebuie să fie situate sub curba inferioară a zonei de demarcație dintre zona cu și fără flicker (fig. 2 din normativ). Semnalăm faptul că în figura 2 coeficientul λ este definit ca raportul S_t/S_{sc}. Evident, notația trebuie menținută ca în text: S_t/S_k. Pentru cuptoarele exploatate în UHP (Ultra High Power), valorile admisibile pentru λ se majorează cu 30%. În continuare normativul se ocupă de cazul mai multor cuptoare cu arc electric (cu cazul particular în care toate cuptoarele sînt identice), precum și cel în care S_t nu poate fi determinat.

În situația în care nu se dispune de elementele necesare determinării puterii de scurtcircuit — S_t — a cuptorului cu arc, ca element de stabilire a acceptabilității racordării la rețea se definește un alt coeficient:

$$\lambda_T = \frac{S_{NT}}{S_k}, \qquad (3)$$

în care S_{NT} reprezintă puterea nominală a cuptorului.

Pentru a se evita producerea fenomenului de flicker, valorile lui λ_T pentru un anumit cuptor trebuie să se situeze sub curba inferioară a zonei de demarcație dintre zona cu și fără flicker (fig. 3 din normativ).

Facem aceeași observație ca și în cazul figurii 2: în figura 3, λ_T se definește ca raportul S_{NT}/S_{sc}, și nu ca în text (S_{NT}/S_k). Și în acest caz trebuie păstrată notația din text.

Capitolul 3 al normativului se ocupă de determinarea nivelului de flicker în instalațiile electrice existente.

Pentru cazul receptoarelor perturbatoare din prima categorie, determinarea caracteristicilor fluctuațiilor de tensiune este prevăzută a se face prin oscilografierea undei de tensiune și înregistrarea șocurilor de putere reactivă, urmînd ca rezultatele să se compare cu curba limitei de iritabilitate (fig. 1 din normativ).

Pentru cuptoarele cu arc, normativul recomandă măsurarea efectului de flicker prin folosirea unui flickermetru, care ține seama de efectul cumulativ, pe durata unei șarje de topire, al fluctuațiilor de tensiune asupra nervului optic, ca urmare a variației fluxului luminos al surselor de iluminat.

În situația în care se folosește un flickermetru de tip pătratic care înregistrează doza de flicker, aceasta trebuie să se situeze în permanență sub curba-limită (fig. 4 din normativ).

Doza de flicker (f) este definită în normativ prin expresia:

$$f = \int_0^T a_{10}^2 \, dt, \qquad (4)$$

în care a_{10}^2 reprezintă fluctuația sinusoidală cu frecvența de 10 Hz, echivalentă din punctul de vedere al efectului de flicker cu fluctuația reală a tensiunii care prezintă amplitudini și frecvențe aleatorii.

Fluctuația sinusoidală a_{10} este dată de relația:

$$a_{10} = (\Sigma a_i^2 \, g_i^2)^{1/2} \qquad (5)$$

în care a_i este amplitudinea fluctuației la frecvența i, iar g_i reprezintă coeficienți ce depind de frecvență, determinați pe cale experimentală.

În cazul în care nu există flickermetru, normativul admite determinarea fluctuațiilor și în acest caz pe baza oscilografierii undei de tensiune și înregistrarea șocurilor de putere reactivă.

Remarcăm faptul că normativul (în capitolele 2 și 3) nu face nici o precizare în legătură cu conectarea unui receptor perturbator la o bară pe care, în situația existentă, se manifestă deja efectul de flicker, chiar dacă acesta se situează în domeniul acceptabil pentru rețeaua de alimentare. În această situație, ce se întîlnește în practică, apare, evident, suprapunerea între situația existentă și cea proiectată și pe care normativul, la o nouă redactare, va trebui să o ia în considerație.

Capitolul 4 al normativului stabileşte soluţiile de combatere a efectului de flicker. Pentru cuptoarele cu arc electric de puteri mici (1—10 MVA), reducerea fluctuaţiilor de tensiune este asigurată prin montarea unei bobine de reactanţă în circuitul de alimentare.

Pentru receptoare perturbatoare cu puteri mari, soluţiile de anulare sau diminuare a flickerului trebuie analizate comparativ tehnico-economic.

Soluţiile ce urmează a fi comparate tehnico-economic prevăzute de normativ sînt : mărirea puterii de scurtcircuit S_k în punctul comun de racord (bara critică) prin realizarea unor legături suplimentare cu sistemul electroenergetic, alimentarea receptoarelor perturbatoare de la o treaptă de tensiune mai ridicată (eventual printr-o reţea separată), prevederea, pe măsura realizării în industria indigenă, a unor surse statice de compensare a şocurilor de putere reactivă dotate cu reglaj ultrarapid (baterii de condensatoare comandate prin dispozitive tiristorizate sau reactoare nesaturate), prevederea unor surse rotative de compensare a şocurilor de putere reactivă (supraexcitarea motoarelor sincrone, compensatoare sincrone cu reglaj lent sau rapid etc.).

Normativul prevede necesitatea ca utilizarea surselor locale cu efect atenuator pentru şocurile de putere reactivă să se coreleze cu necesităţile de îmbunătăţire a factorului de putere a instalaţiilor respective.

Considerăm că, din acest punct de vedere, prevederile normativului sînt insuficiente. De regulă, receptoarele perturbatoare sînt şi pronunţat neliniare (cuptoare cu arc electric, laminoare ş.a.), astfel încît recomandarea referitoare la sursele locale cu efect atenuator pentru şocurile de putere reactivă trebuie corelată, ca necesitate, şi cu limitarea regimului deformant potrivit prevederilor PE 142/80. Este de remarcat că problema compensării puterii reactive fiind interdependentă cu problema diminuării regimului deformant, utilizarea filtrelor de absorbţie în sistemul mixt de filtrare-compensare a puterii reactive este de natură a soluţiona concomitent şi problema diminuării efectului de flicker, prin dimensionarea corespunzătoare a acestor filtre.

În continuare normativul evidenţiază unele măsuri de ordin tehnico-organizatoric referitoare la reducerea efectului de flicker pentru cuptoarele cu arc electric din instalaţiile existente.

Anexele B şi C din normativ prezintă indicaţii referitoare la determinarea puterii de scurtcircuit a cuptorului cu arc (S_T) şi, respectiv, a puterii cuptorului echivalent, cu exemple concrete de calcul.

Trecerea în revistă a conţinutului normativului PE 142/80, cu observaţiile prezentate, atestă faptul că, pentru electroenergeticieni, lucrarea este deosebit de utilă. Aplicarea acestui normativ va da posibilitatea acumulării unei experienţe care desigur că se va reflecta şi în completarea prevederilor sale la o nouă redactare.

În final subliniem meritul ISPE, care, după studii şi măsurători făcute în sistem pe durata mai multor ani, a reuşit să elaboreze o lucrare cu caracter de act normativ şi îndrumare de o deosebită utilitate.

Ing. **Romulus Sfichi**

„Revista ENERGETICA"—organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din R.S. România. Redacţia: Bucureşti, Bd. Energeticienilor 8, Sector 3. Telefon: 20 67 30. Instituţiile pot achita abonamente pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R.—Sectorul 3. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Preţul unui exemplar: 5 lei. Taxele poştale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/7914/1979

I. P. I. c 1121

41 401

СОДЕРЖАНИЕ

IV-я Сессия научно-технических сообщений: «Производство, передача и рациональное использование электрической энергии», Сучава, 6—7 ноября 1980 г. 57

Секция I — **Экономия электрической энергии и снижение собственного технологического потребления в сетях электроэнергетических систем. Условные и неусловные источники электрической энергии** (Общий доклад). 69

ДК 621.3.016.4 : 621.316.1 : (R011)

О. Мустацэ, П. И. Ани, М. Данилюк и *Р. Текучану:* **Комплект программ относительно наблюдения и снижения собственного технологического потребления в распределительных сетях электроэнергии, находящихся в хозяйственоведении ПЭС г. Сучавы.** 72

ДК 621.316.1.001.4 (R011)

Тр. Кириак, А. Грэмадэ и *Г. Маня:* **Экономическая работа сетей ПЭС г. Сучавы.** 74

ДК 621.3.002.5 : 621.3.016.45

Р. Сфики: **Относительно некоторых вопросов компенсации реактивной мощности, коррелированных со снижением искажающего режима на электроэнергетических установках.** 76

ДК 338.062.219.3 : 621.3 : 622.(R011)

Р. Сфики, О. Янош и др.: **Относительно заключений электроэнергетического баланса в горном секторе уезда Сучавы.** 82

ДК 548 : 621—25

Е. Н. Дяконеску, В. Г. Кроитору и др.: **Исследования и испытания, касающиеся ветрового ротора с горизонтальной осью и плоскими лопастями.** 85

Секция II — **Электрические установки по автоматизации, проектированию и контролю в сетях электроэнергетических систем. Управление и надежность эксплуатации сетей электроэнергетических систем** (Общий доклад). 88

ДК 621.316.1 :681.177.8 (R011)

О. Мустацэ, Тр. Кириак и др.: **Соображения, касающиесяа введения системы телеуправления на основе электронной вычислительной машины в электрической сети распределения Предприятия электрических сетей Г. Сучавы.** 90

ДК 621.316.1 : 681.177 (R011)

Тр. Кириак, Л. Пенчиук и *Д. Дуру:* **Возможности реализации передачи данных при условии введения систем телеуправления при помощи процессных вычислительных машин. Представление адекватных моделей ПЭС г. Сучавы.** 97

ДК 621.311.161 :621.3.019.3

М. Помырлеану, Л. Бежуску и *И. Раду:* **Оперативные анализы надежности работы националной энергетической системы объединенной с соседними системами.** 100

ДК 621.316.1 : 621.3.019.3

М. Штаин и *Ст. Дякону:* **Моделирование надежности в работе схем с пассивным резервом оборудования.** 104

ДК 621.315.1.027.3/7.004.64

П. Милитару: **Предупреждение аварий в каскаде на линиях высокого напряжения.** 107

ДК 621.311.1. :621.311.4

Д. Ивас, Н. Суфлецел и *Г. Кырцынэ:* **Возможности модернизации оперативного управления подстанций на сетях Предприятия электрических сетей г. Ясс.** 113

Секция III — **Поведение в эксплуатации электроэнергетических оборудований и материалов. Новые конструктивные и проектные решения электрических сетей.** (Общий доклад). 116

ДК 621.316.1.004.1 : 621.317.333.4

Д. Бошкояну, Р. Сфики и *Г. Чернишкэ:* **Явления, приводящие к повреждению некоторых электрических оборудований в эксплуатации.** 122

ДК 621.315.1.027.3/7 : 621.3.015.523 : 699.144

Д. Кристеску, М. Унгуряну и др.: **Введение линий высокого напряжения в окружающую среду. Аспекты, связанные с акустическим шумом, вызванным коронными разрядками.** 125

ДК 621.315.1.027.3/7

Н. Голованов, С. Хурдубециу и *Р. Енаке:* **Характеристики высоковольтных воздушных линий с большим числом схем в постоянном режиме.** 131

ДК 620.91 : 621.316.35 : 621.316.57 : 546.22/16

Кр. Быркэ, В. Джурджиу и *Б. Г. Попеску:* **Электрическое оборудование по распределению и капсюльные шины высокого напряжения с SF_6** 135

ДК 621.315.1 : 621.315.5 : 538.569.2

Н. Шоря: **Вклад, касающийся некоторых методов расчета вынужденных колебаний трубопроводов ЛЭП под воздействием ветра.** 139

РЕЦЕНЗИИ

INHALTSVERZEICHNIS

Die IV. technisch-wissenschaftliche Berichtserstattungstagung „Die rationelle Erzeugung, Fortleitung, Verteilung und Anwendung der Elektroenergie" — Suceava, 6.—7. November 1980 57

I. Sektion — **Die Elektroenergieersparnis und die Herabsetzung des technologischen Eigenverbrauchs in den Elektroenergiesystemnetzen. Konventionnelle und niehtkonventionelle Energiequellen** (Hauptbericht) 69

DK 621.3.016.4 :621.316.1 : (R011)

O. Mustață, P. I. Ani, M. Daniliuc und *R. Tecuceanu* : **Programmsatz für die Überwachung des technologischen Eigenverbrauchs in den Elektroenergieverteilungsnetzen des IRE Suceava** 72

DK 621.316.1.001.4(R011)

Tr. Chiriac, A. Grămadă und *G. Manea* : **Der wirtschaftliche Netzbetrieb beim IRE Suceava** 74

DK 621.3.002.5 : 621.3.016.45

R. Sfichi : **Fragen des Ausgleichs der Blindleistung in Verbindung mit der Herabsetzung des Deformierungszustandes in den Elektroenergieanlagen** 76

DK 338.062.219.3. : 621.3 : 622(R011)

R. Sfichi, O. Ianoș u.a. : **Über die Schlussfolgerungen des Elektroenergiebilanz in dem Bergbaugebiet des Kreises Suceava** 82

DK 548 : 621—25

E. N. Diaconescu, V. G. Croitoru u.a. : **Studium und Versuche über den Windrotor mit waagerechter Achse und flachen Schaufeln** 85

II. Sektion — **Elektrische Automatisierungs-, Schutz- und Überwachungsanlagen in den Elektroenergienetzen. Betriebsleitung und -sicherheit der Elektroenergienetze** (Hauptbericht) 88

DK 621.316.1 :681.177.8(R011)

O. Mustață, Tr. Chiriac u. a. **Betrachtungen über die Einführung des Rechnergesteuerten Fernleitungssystems in dem Verteilungsnetz des Netzbetriebs Suceava** 90

DK 621.316.1 : 681.177.(R011)

Tr. Chiriac, L. Penciuc und *D. Duru* : **Datenübertragungsmöglichkeiten durch die Einführung der Fernleitungssystemen anhand von Prozessrechnern. Für IRE Suceava angepasste Modelle** 97

DK 621.311.161 : 621.3.019.3

M. Pomârleanu, L. Bejuscu und *I. Radu* : **Schnellzuverlässigkeitsanalysen des mit den benachbarten Systemen verbundenen nationalen Elektroenergienetzes** 100

DK 621.316.1 : 621.3.019.3.

M. Stein und *St. Diaconu* : **Die Modellierung der Betriebszuverlässigkeit der Schaltungen mit passivierten Ausrüstungen** 104

DK 621.315.1.027.3/7.004.64

P. Militaru : **Vorbeugung der Kaskadenschadensfällen bei Hochspannungsleitungen** 107

DK 621.311.1 : 621.311.4

D. Ivas, N. Sufletel und *Gh. Cîrțină* : **Möglichkeiten zur Modernisireung der operativen Leitung der Anlagen des Netzbetriebunternehmens Jassy** 113

III. Sektion — **Betriebsverhalten der elektroenergetischen Einrichtungen und Werkzeuge. Neue Bau- und Projektierungslösungen für Elektroenergienetze** (Hauptbericht) 116

DK 621.316.1.004.1 : 621.317.333.4

D. Boșcoianu, R. Sfichi und *Gh. Cernușcă* : **Die Bedeutung der raschwüchsigen Phänomene bei der Beschädigung der in Betrieb sich befindenden Elektroanlagen** 122

DK 621.315.027.3/7 : 621.3.015.532 : 699.144

D. Cristescu, M. Ungureanu u.a. : **Das Einpassen der Hochspannungsleitungen in die Umwelt. Fragen des durch Corona- Entladungen verursachten Geräusches** 125

DK 621.315.1.027.3/7

N. Golovanov, S. Hurdubețiu und *R. Enache* : **Kennzeichen der Hochspannungsfreileitungen mit mehreren Schaltungen in unveränderlichem Betriebsregime** 131

DK 620.91 : 621.316.35 : 621.316.57 : 546.22/16

Cr. Bârcă, V. Giurgiu und *B. G. Popescu* : **Elektroenergie-Verteilungsausrüstungen und in SF_6 gekapselte Hochspannungsschienen** 135

DK 621.315.1 : 621.315.5 : 538.569.2

N. Șorea : **Beiträge zu den Berechnungsmethoden für die windeingeleiten Schwingungen von Freileitungskabeln** 139

REZENSIONEN

SOMMAIRE

La IV-ème Session technique-scientifique „Production, transport, distribution et utilisation rationnelle de l'énergie électrique" — Suceava, 6—7 nov. 1980

57

Section I — **Economie d'énergie électrique et diminution de la consommation propre technologique dans les réseaux des systèmes électroénergétiques. Sources conventionnelles et non-conventionnelles d'énergie électrique** (Rapport général)

69

CD 621.3.016.4 : 621.316.1 : (R011)

O. Mustață, P.I. Ani, M. Daniliuc et *R. Tecuceanu:* **Set de programmes concernant le contrôle et la réduction de la consommation propre technologique dans les réseaux de distribution de l'énergie électrique dans la gestion de l'IRE Suceava**

72

CD 621.316.1.001.4 (R011)

Tr. Chiriac, A. Grămadă et *G. Manea* : **Fonctionnement économique des réseaux de l'IRE Suceava**

74

CD 621.3.002.5 : 621.3.016.45

R. Sfichi : **Quelques problèmes de compensation de la puissance réactive, en correlation avec la réduction du régime déformant dans les installations électroénergétiques**

76

CD 338.062.219.3 : 621.3 : 622 (R011)

R. Sfichi, O. Ianos et. a. : **Sur les conclusions du bilan électroénergétique dans le secteur des mines du district de Suceava**

82

CD 621.548 : 621 — 25

E. N. Diaconescu, V. G. Croitoru et. a. : **Etude et essais sur le rotor éolien à axe horizontal et aubes planes**

85

Section II — **Installations électriques d'automatisation, protection et réglage dans les réseaux des systèmes électroénergétiques. La gestion et la fiabilité des réseaux des systèmes électroénergétiques**

88

CD 621.316.1 :681.177.8(R011)

O. Mustață, Tr. Chiriac et a. : **Considérations concernant l'introduction du système de téléconduite à base de computer dans le réseau électrique de distribution de l'IRE Suceava**

90

CD 621.316.1 : 681.177 (R011)

Tr. Chiriac, L. Penciuc et *D. Duru* : **Possibilités de réalisation de la transmission des dates dans les conditions de l'introduction des systèmes de télécommande à calculateurs de procès. Présentation de quelques modèles de l'IRE Suceava**

97

CD 621. 311.161 : 621.3.019.3

M. Pomârleanu, L. Bejuscu et *I. Radu* : **Analyses opératives concernant la fiabilité en fonctionnement du système électroenergétique national interconnecté au systèmes voisins**

100

CD 621.316.1 : 621.3.019.3

M. Stein et *St. Diaconu* : **Simulation de la fiabilité de fonctionnement des schémas à réservation passive de l'équipement**

104

CD 621.315.1.027.3/7.004.64

P. Militaru : **Prévention des avaries en cascade aux lignes électriques haute tension**

107

CD 621.311.1 : 621.311.4

D. Ivas, N. Sufletel et *Gh. Cîrțină* : **Possibilités de modernisation de la gestion opérative des postes du réseau appartenant à l'IRE Suceava**

113

Section III — **Le comportement dans l'exploitation des équipements et matériaux électroénergétiques. Nouvelles solutions constructives et de projets des réseaux électriques** (Rapport général)

116

CD 621.316.004.1 : 621.317.333.4

D. Boșcoianu, R. Sfichi et *Gh. Cernușcă* : **Phénomènes évolutifs qui mènent à la dégradation de quelques équipements électriques en exploitation**

122

CD 621.315.1.027.3/7 : 621.3.015.532.699.144

D. Cristescu, M. Ungureanu et a. : **L'encadrement des lignes haute tension dans l'environnement. Aspects liés au bruit accoustique provoqué par la décharge corona**

125

CD 621.315.1.027.3/7

N. Golovanov, S. Hurdubețiu et *R. Enache* : **Caractéristiques des lignes électriques haute tension à plusieurs circuits en régime permanent**

131

CD 620.91 : 621.316.35 : 621.316.57 : 546.22/16

Cr. Bârcă, V. Giurgiu et *B. G. Popescu* : **Equipements électroénergétiques de distribution et barres à haute tension capsulées avec SF_6**

135

CD 621.315.1 : 621.315.5 : 538.569.2

N. Șorea : **Contributions concernant quelques méthodes de calcul des oscillations forcées des conducteurs LEA sous l'action du vent**

139

COMPTE-RENDUS

CONTENTS

The IV-th Technical and Scientific Reports Session „Generation, Transport, Distribution, and Rational Utilization of Electric Energy" Suceava November 6—7, 1980 57

Section I — **Electric Energy Savings and Technologic Eigenconsumption Decrease in Electric Power System Networks. Conventional and Non-conventional Electric Energy Sources** (General Report) 69

DC 621.3.016.4 : 621.316.1 : (R011)

O, Mustață, P. I. Ani, M. Daniliuc and *R. Tecuceanu* : **Programs Set for the Survey and Decrease of the Technologic Eigenconsumption in the Electricity Distribution Networks Controlled by IRE Suceava** 72

DC 621.316.1.001.4 (R011)

Tr. Chiriac, A. Grămadă and *G. Manea* : **Economic Networks Operation at IRE Suceava** 74

DC 621.3.002.5 : 621.3.016.45

R. Sfichi : **Upon Some Problems of the Reactive Power Compensation Correlated With the Decrease of the Distortion Regime in Electric Power Installations** 76

DC 338.062.219.3 : 621.3 : 622 (R011)

R. Sfichi, O. Ianoș, a.o. : **Upon the Electric Power Balance Conclusions in the Mining Area of the Suceava District** 82

DC 621.548 : 621—25

E. N. Diaconescu, V. G. Croitoru, a.o. : **Study and Tests of the Orizontal Axis and Flat Wings Wind Rotor** 85

Section II — **Electric Automation, Protection and Control Installations in the Electric Energy Systems Networks. Electric Energy Systems Networks Management and Reliability** (General Report) 88

DC 621.316.1 :681.177.8(R011)

O. Mustață, Tr. Chiriac a. o. : **Remarks on the Introduction of the computer based remote control to the electric distribution network of the Electric Enterprise Suceava** 90

DC 621.316.1 : 681.177 (R011)

Tr. Chiriac, L. Penciuc and *D. Duru* : **Data Transmission Possibilities Within Process Computer Remote Controll Systems. Introducing Some Models Suitable for IRE Suceava** 97

DC 621.311.161 : 621.3.019.3

M. Pomârleanu, L. Bejuscu and *I. Radu* : **Operative Reliability Analysis of the National Power Grid Interconnected to Neighbouring Systems** 100

DC 621.316.1 : 621.3.019.3

M. Stein and *St. Diaconu* : **Reliability Simulation of Diagrams with Passivized Equipment** 104

DC 621.315.1.027.3/7.004.64

P. Militaru : **Avoiding Cascade Damages at High Voltage Lines** 107

DC 621.311.1 : 621.311.4

D. Ivas, N. Sufletel and *Gh. Ctrțină* : **Possibilities of Operative Management Updating of the Substations Operated by the Electrical Network Enterprise Iassy** 113

Section III — **Operation Behaviour of Electric Power Equipments and Materials. New Construction and Design Alternatives for Electric Power Networks** (General Report) 116

DC 621.316.004.1 : 621.317.333.4

D. Boșcoianu, R. Sfichi and *Gh. Cernușcă* : **Evolutive Phenomena Leading to the Damaging of Electric Equipement in Operation** 122

DC 621.315.1.027.3/7 : 621.3.015.532 : 699.144

D. Cristescu, M. Ungureanu a. o. : **High Voltage Lines and Scenery Problems. Aspects Linked to the Corona Discharge Noise** 125

DC 621.315.1.027.3/7

N. Golovanov, S. Hurdubețiu and *R. Enache* : **Characteristics of High Voltage Overhead Electric Lines with Several Circuits During Constant Operation** 131

CD 620.91 : 621.316.35 : 621.316.5 : 546.22/16

Cr. Bârcă, V. Giurgiu and *B. G. Popescu* : **Power Equipment for Energy Distribution and High Voltage SF_6 Capsulated Bars** 135

DC 621.315.1 : 621.315. :538.569.2

N. Șorea : **Contributions Regarding Some Calculation Methods for Wind Induced Vibrations of Overhead Electric Lines Conductors** 139

REVIEWS

MŰSZAKI KÖNYVTÁR

IRE SUCEAVA

```
0ACE 78                 MOV A,B
0ACF E601               ANI 1H   ;STERGER 7 BITI,FARA LSB
0AD1 77                 MOV M,A
0AD2 23                 INX H
0AD3 78                 MOV A,B
0AD4 0F                 RRC
0AD5 47                 MOV B,A
0AD6 0D                 DCR C
0AD7 C2CE0A             JNZ DEPLP
0ADA C9                 RET
                    ;
                    ;
                    ;
                    ;    ;
                    ;
                    ;    SUBRUTINA REACTUALIZARE DATE
                    ;
                    REACT:
0ADB D5                 PUSH D   ;SUBRUTINA REACTUALIZARE DATE TELESEMNAL
0ADC 218810             LXI H,TEMP6
0ADF 3600               MVI M,0
0AE1 218710             LXI H,TEMP5
0AE4 3633               MVI M,33H
0AE6 1600               MVI D,0
                    REALP:
1                  +    INCR TEMP6,TEMP5          ;NU AFECT.B,C
1                  + $P=0
1                  +

0B23 CA380B             JZ REALE          ;RETURN LA SFIRSIT BUCLA
0B26 14                 INR D
0B27 21FF13             LXI H,TELES-1
0B2A CD4000             CALL ADRES        ;(H,L)=ADR1+(I-1)
0B2D 46                 MOV B,M
0B2E 214114             LXI H,TELEV-1
0B31 CD4000             CALL ADRES        ;(H,L)=ADR2+(I-1)
0B34 70                 MOV M,B
0B35 C3E80A             JMP REALP
                    REALE:
0B38 D1
0B39 C9
```

I.R.E. Suceava

este prima întreprindere de reţele electrice din ţară care a experimentat şi realizat, în trim.IV.198o, telemecanizarea staţiilor de transformare cu calculator de proces

```
                                                  IN BCD IN
0
0B5
0B60
0B63 21
0B66 70
0B67 CD8D04                                  ,VALOAREA BINARA A NR.ECHIP
0B6A FE16               CPI
0B6C DA780B             JC TIPE1
                    TIP45:
0B6F 216017             LXI H,MJEEC       ;NR.PREA MARE,MESAJ 'NECONECTAT
0B72 CD0704             CALL MESAJ
0B75 C3B30B             JMP TIPEH
```

ROMENERGO

FOREIGN TRADE COMPANY

ROMÂNIA - BUCHAREST
Calea Victoriei 194 - Sector 1
CABLES:
ROMENERGO BUCUREŞTI
P.O. BOX: 22 - 153
TELEX: 011525 romeng r
POSTAL CODE: 71 101

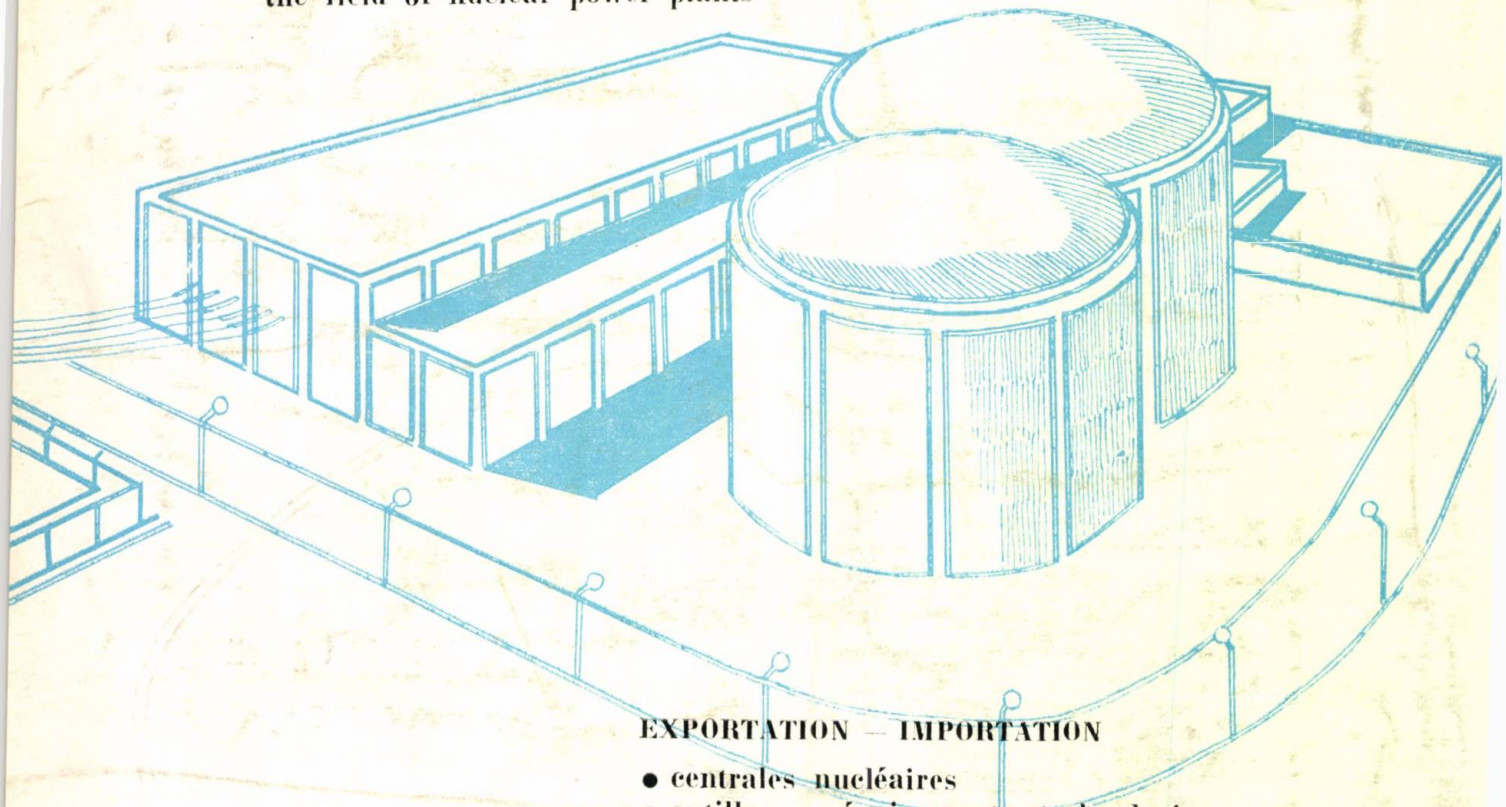
PHONE: 50 66 82

IMPORT-EXPORT IN THE NUCLEAR FIELD

1981 206 3 1

EXPORT — IMPORT

- nuclear power plants
- technological equipment and devices, materials, specific spare parts for nuclear power plants
- licences, studies, designs, know-how, documentations, engineering, technology, technical assistance, training of staff in the field of nuclear power plants



EXPORTATION — IMPORTATION

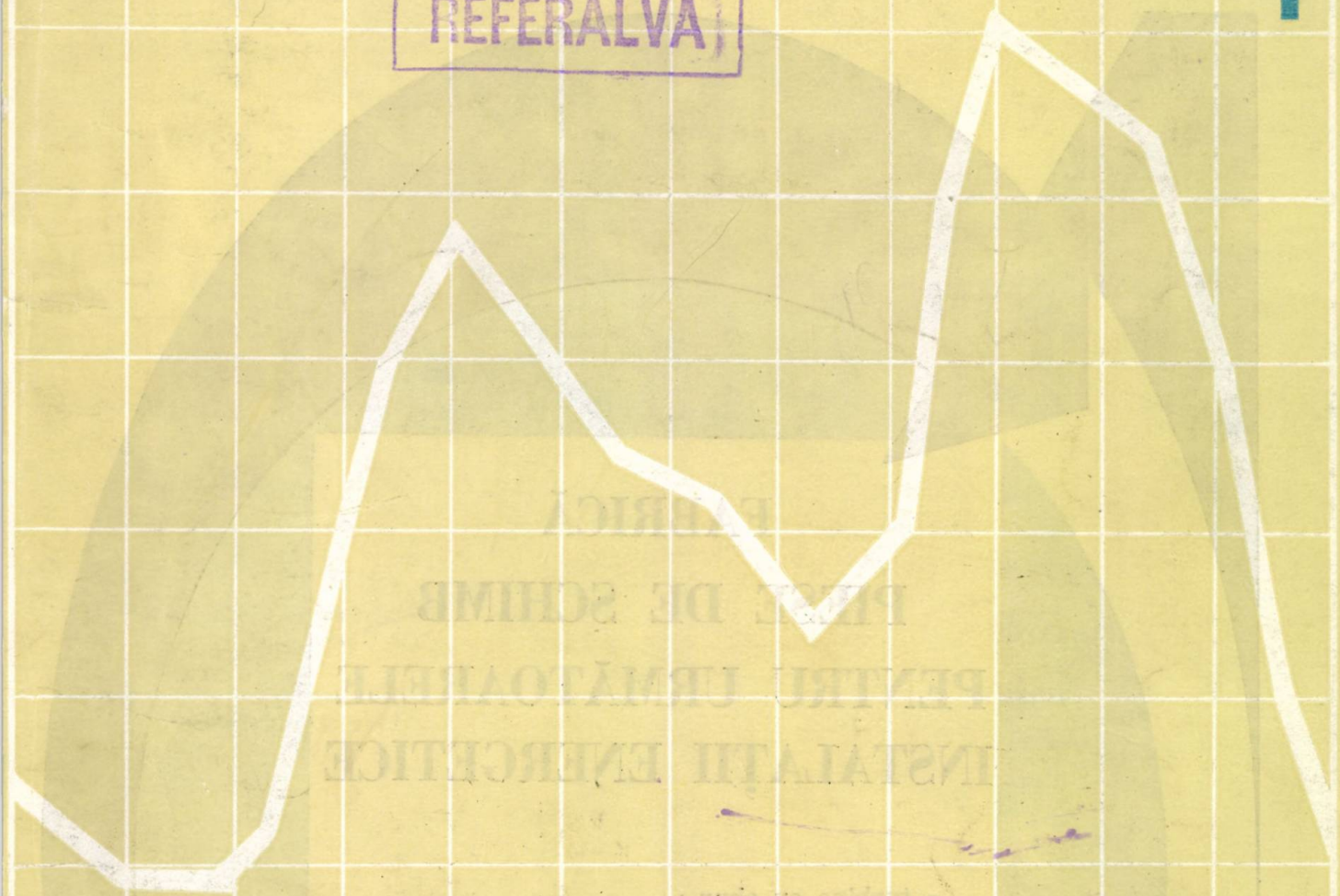
- centrales nucléaires
- outillages, équipements technologiques, matériaux et pièces de rechange appropriés aux centrales nucléaires
- licences, études, projets, cahiers techniques, know-how, engineering, technologie, assistance technique, formation de cadres dans le domaine des centrales nucléaires

E 2039
Elektrotechn. tr.
(Kapot reffel együtt készült)
Victor
R
REFERÁLVA

MW

4

energetica



VOLUMUL XXIX
BUCUREŞTI
APRILIE 1981

0 6 12 18 24

ENERGOREPARAȚII

B-dul Mărăşeşti nr. 2, sectorul 5, Bucureşti.
Telefon: 23.26.40. Telex: 011635. – Cod poştal 774170.

FABRICĂ
PIESE DE SCHIMB
PENTRU URMĂTOARELE INSTALAȚII ENERGETICE

- turbine cu abur ;
- turbine hidraulice ;
- cazane de abur ;
- staţii de aer comprimat, pompe centrifuge, ventilatoare de aer şi gaze ;
- instalaţii pentru pregătirea şi transportul combustibilului.

Cu acordul întreprinderii producătoare, se pot livra, pe baza proiectelor proprii, şi alte piese de schimb.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 29 Nr. 4 aprilie

MŰSZAKI KÖNYVTÁRAK DOKUMENTÁCIÓS SZOLGÁLATA

Cuprinsul

		Pag.
I. Ursu, I. Purica, Al. Bădescu-Singureanu şi L. Schäter	**Cercetări de fizică cu aplicabilitate potenţială în energetică: conversia directă a energiei nucleare**	149—154
C. Popescu, M. M. Dăncilă şi V. Vărzaru	**Centrale solaroelectrice cu ciclu termodinamic — stadiul actual şi tendinţe de dezvoltare**	154—166
N. Niculescu, N. David, C. Corcodel şi M. Iordache	**Contribuţii la optimizarea dimensionării reţelelor de termoficare**	166—169
E. Gatman-Săndulescu, E. Antoniu şi A. I. Penu	**Noi posibilităţi de urmărire a calităţii combustibililor inferiori**	169—175
M. Maftei, C. Moţiu, A. Radu, I. Hîncu ş.a.	**Modelarea fizică în canal hidraulic a dispersiei poluanţilor în atmosferă în jurul centralelor termoelectrice**	175—179
W. Gooss	**Readitivarea uleiurilor de turbină folosite în exploatarea turboagregatelor**	179—183
L. Canciu, V. Dobre şi N. Oprişiu	**Funcţionarea motorului asincron trifazat cu alimentarea în două faze**	183—187
Gh. Ijac, M. Beşa, D. M. Potlog, V. Rugină ş.a.	**Comportarea grupurilor de acţionări electrice cu motoare asincrone la goluri de tensiune**	188—193
D. Cernomazu	**Consideraţii privind comportarea în exploatare a comutatoarelor de prize de tip liniar**	193—199
CRONICĂ	**A VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din R. S. România**	199—202

Revista apare sub îndrumarea Consiliului ştiinţific al Institutului central de cercetări energetice

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.311.25 : 621.039.001.5

И. Урсу, И. Пурика, Ал. Бэдеску-Сингуряну и *Л. Шехтэр:* **Физические исследования с потенциальным применением в энергетике — прямая конверсия атомной энергии**

Представлены фундаментальные принципы этого типа конверсии, данные, касающиеся исследований, которые проводятся в мировом плане в этом направлении и некоторые результаты, полученные при исследованиях, проводимых Институтом физики.

Energetica 29 (1981), No. 4, стр. 149—154

ДК 621.47 : 536.7.001.5

К. Попеску, М. Дэнчилэ и *В. Вэрзару:* **Электросолнечные станции с теплодинамическим циклом — актуальная стадия и тенденция развития**

После краткого описания технологии теплодинамической конверсии солнечной энергии (при низкой температуре, а также при средней и высокой температуре) представлены различные варианты схем электросолнечных станций с теплодинамическим циклом, из анализа которых можно оценить их энергетическую эффективность, имея в виду программы технологического исследования-развития в этой области.

Energetica 29 (1981), No. 4, стр. 154—166

ДК 697.34 : 621.315.28.001.1

Н. Никулеску, Н. Давид, К. Коркодел и *М. Иордаке:* **Вклад в оптимизацию определения размеров теплофикационных сетей**

Описывается актуальный способ определения размеров, используемый в проектировании, после чего представляется новый алгорифм, предложенный авторами в целях определения оптимальных диаметров трубопроводов, составляющих теплофикационные сети, а также вывледы, вытекающие из применения в проектировании нового алгорифма.

Energetica 29 (1981), No. 4, стр. 166—169

ДК 662.64/66

Е. Гатман-Сэндулеску, Е. Антониу и *А. Пену:* **Новые возможности наблюдения за качеством низкокачественных топлив**

Energetica 29 (1981), No. 4, стр. 169—175

ДК 621.311.22/23 : 628.52 : 662.64/66

М. Мафтей, К. Моциу, А. Раду и др.: **Физическое моделирование в гидравлическом канале дисперсии загрязнителей в атмосфере вокруг теплоэлектростанций**

Из исследований, проводимых в этой области вытекает, что физическое моделирование в гидравлическом канале является эффективным средством прогнозирования концентраций загрязнителей, носимых ветром, в случае некоторых разнообразных условий рельефа, изменяющие результаты в зависимости от плоской местности. Моделирование особо полезно как для проектирования новых энергетических единиц, так и для преобразования уже существующих в целях использования новых типов топлива.

Energetica 29 (1981), No. 4, стр. 175—179

ДК 621.311.22/23 : 620.193

В. Госе: **Повторная аддитивация турбинных масел, используемых в эксплуатации турбоагергатов**

Представляется решение для проблемы, появившейся за последние годы на большинстве теплоэлектростанций, а именно, коррозия масел при эксплуатации, ситуация, делающая необходимой повторную аддитивацию этих масел.

Energetica 29 (1981), No. 4, стр. 179—183

ДК 216.313.333

Л. Канчиу, В. Добре и *И. Опришиу:* **Работа асинхронного трехфазного двигателя с питанием в двху фазах**

Анализируется поведение асинхронных трехфазных двигателей при перебое питания на одной из фаз. Полученные результаты применяются при освоении некоторых схем для защиты и корректорной сигнализации в целях устранения работы этих двигателей в двух фазах.

Energetica 29 (1981), No. 4, стр. 183—187

ДК 621.313.333 : 537.315

Г. Ижак, М. Беша, Д. М. Потлог и др.: **Поведение группы электроприводов с асинхронными двигателями при падении напряжения**

Energetica 29 (1981), No. 4, стр. 188—193

ДК 621.314.53

Д. Черномазу: **Соображения касающиеся поведения в эксплуатации переключателей отводов линейного типа. Вклад в их усовершенствование.**

Energetica 29 (1881), No. 4, стр. 193—199

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.311.25 : 621.039.001.5

I. Ursu, I. Purica, Al. Bădescu-Singureanu und *L. Schächter:* **Forschungen in der Physik mit Anwendbarkeit in der Energiewirtschaft — die direkte Umwandlung der Kernenergie**

Es werden die Grundprinzipien dieser Umwandlungsart angegeben, Daten über die weltweiten Forschungen auf diesem Gebiet, sowie einige im Institut für Physik erzielte Forschungsergebnisse.

Energetica 29 (1981), H. 4, S. 149—154

DK 621.47 : 536.7.001.5

C. Popescu, M. Dăncilă und *V. Vărzaru:* **Sonnenkraftwerke mit thermodynamischem Zyklus zur Erzeugung der Elektroenergie — gegenwärtiger Stand und Entwicklungstendenzen**

Nach der kurzen Beschreibung der thermodynamischen Umwandlungstechnologien der Sonnenenergie (bei kleiner, sowie mittlerer und hoher Temperatur) werden verschiedene Arten von Sonnenkraftwerken mit thermodynamischen Zyklus vorgestellt; durch die Analyse ihres energiewirtschaftlichen Wirkungsgrades werden die technologischen Forschungs- und Entwicklungsprogramme in diesem Gebiet vorgezeichnet.

Energetica 29 (1981), H. 4, S. 154—166

DK 697.34 : 621.315.28.001.1

N. Niculescu, N. David, C. Corcodel und *M. Iordache:* **Beiträge zur Optimierung der Bemessung der Fernheiznetze**

Es wird die gegenwärtige, in der Projektierung angewandte Bemessungsmethode beschrieben, nachdem wird der neue, von den Verfassern vorgeschlagene, Algorithmus zur Bestimmung der optimalen Durchmesser der Hernheizrohre

angegeben, und abschliessend werden Schlussfolgerungen aus der praktischen Anwendung in der Projektierung des neuen Algorithmusses aufgestellt.

Energetica 29 (1981), H. 4, S. 166–169

DK 662.64/66

E. Gatman-Săndulescu, E. Antoniu und *A. Penu:* **Neue Überwachungsmöglichkeiten der Qualität minderwertiger Brennstoffe**

Energetica 29 (1981), H. 4, S. 169–175

DK 621.311.22/23 : 628.52 : 662.64/66

M. Maftei, C. Moțiu, A. Radu u.a.: **Die physikalische Modellierung in hydraulischen Kanälen der atmosphärischen Dispersion von Verunreinigungsstoffen in der Nähe von Wärmekraftwerken**

Aus dem Studium ergibt sich, dass die physikalische Modellierung in einem hydraulischen Kanal ein wirkungsvolles Mittel ist zur Vorhersage der Konzentration der vom Wind getragenen Verunreinigungs- staubes auf verschiedenen Erdreliefen verglichen mit einem flachen Relief. Die Modellierung ist besonders nützlich bei der Projektierung neuer Kraftanlagen sowie bei dem Umbau der existierenden, für den Betrieb mit anderen Brennstoffarten.

Energetica 29 (1981), H. 4, S. 175–179

DK 621.311.22/23 : 620.193

W. Gooss: **Wiederadditivierung der beim Betrieb der Turbosätze angewendeten Turbinenöle**

Es wird eine Lösung gegeben zum Problem der Korrosionsangriffbarkeit der Wärmekraftwerksöle, eine Situation die zu ihrer Wiederadditivierung führt, eine Frage die in letzter Zeit bei mehreren Wärmekraftwerken aufgetaucht ist.

Energetica 29 (1981), H. 4, S. 179–183

DK 621.313.333

L. Canciu, V. Dobre und *N. Oprișiu:* **Der Betrieb des dreiphasigen Asynchronmotors mit Einspeisung von zwei Phasen**

Es wird das Verhalten von dreiphasigen Asynchronmotoren während der Abschaltung einer der Einspeisungsphasen analysiert und die Ergebnisse werden zur Aufstellung von korrekten Schutz- und Analysierungsschemen angewendet, um somit ihren zweiphasigen Betrieb zu vermeiden.

Energetica 29 (1981), H. 4, S. 183–187

DK 621.313.333 : 537.315

Gh. Ijac. M. Beșa, D. M. Potlog u.a.: **Das Verhalten der elektrischen Antriebblöcken mit Asynchronmotoren während der Spannungsunterbrechungen**

Energetica 29 (1981), H. 4, S. 188–193

DK 621.314.53

D. Cernomazu: **Betrachtungen betrefflich des Betriebverhaltens der linearen Abnehmerschalter. Beiträge zu ihrer Verbesserung**

Energetica 29 (1981), H. 4, S. 193–199

SOMMAIRE

CD 621.311.25 : 621.039.001.5

I. Ursu, I. Purica, Al. Bădescu-Singureanu et *L. Schächter:* **Recherches de physique ayant une appliquabilité potentielle dans le domaine énergétique — la conversion directe de l'énergie nucléaire**

On présente les principes fondamentaux de ce type de conversion, des données sur les recherches entreprises à l'échelle mondiale dans ce domaine, ainsi que quelques résultats obtenus dans les recherches de l'Institut de physique de Bucarest.

Energetica 29 (1981), no. 4, p. 149–154

CD 621.47 : 536.7.001.5

C. Popescu, M. Dăncilă et *V. Vărzaru:* **Centrales solaires-électriques à cycle thermodynamique — le stade actuel et tendences de développement**

Après la description succinte des technologies de conversion thermodynamique de l'énergie solaire (à basse température, ainsi qu'à température moyenne et élevée), on présente des différentes variantes de schémas de centrales solaires-électriques à cycle thermodynamique. L'analyse de ces schémas met en évidence leur efficacité énergétique pour les programmes de recherche-développement technologique dans ce domaine.

Energetica 29 (1981), no. 4, p. 154–166

CD 697.34 : 621.315.28.001.1

N. Niculescu, N. David, C. Corcodel et *M. Iordache:* **Contributions à l'optimisation du dimensionnement des réseaux de chauffage à distance**

On décrit le mode actuel de dimensionnement et on présente le nouvel algorithme, proposé par les auteurs, en vue de déterminer les diamètres optimums des conduits qui composent un réseau de chauffage à distance. On donne également les conclusions de l'application de cet algorithme dans l'établissement des projets.

Energetica 29 (1981), no. 4, p. 166–169

CD 662.6466

E. Gatman-Săndulescu, E. Antoniu et *A. Penu:* **Possibilités nouvelles pour déterminer la qualité des combustibles inférieurs**

Energetica 29 (1981), no. 4, p. 169–175

CD 621.311.22/23 : 628.52 : 662.64/66

M. Maftei, C. Moțiu, A. Radu et a.: **La simulation physique, en canal hydraulique, de la dispersion des polluants dans l'atmosphère dans la proximité des centrales thermiques**

Les études dans ce domaine ont montré que la simulation physique dans le canal hydraulique est un moyen efficace de prévision des concentrations des polluants portés par le vent, au cas des conditions variées du relief, qui modifient les résultats par rapport à un terrain plan. La simulation est particulièrement utile pour l'établissement des projets des nouvelles installations énergétiques, ainsi que pour transformer les installations existantes afin d'utiliser des nouveaux types de combustibles.

Energetica 29 (1981), no. 4, p. 175–179

CD 621.311.22/23 : 620.193

W. Gooss: **Réadditivation des essences de turbine utilisées dans l'exploitation des turboagrégats**

On présente la solution au problème soulevé dans le dernier temps dans plusieurs centrales thermiques, nommément la corrosivité des essences qui sont en exploitation, situation qui exige la réadditivation de ces essences.

Energetica 29 (1981), no. 4, p. 179–183

CD 621.313.333

L. Canciu, V. Dobre et *N. Oprișiu:* **Le fonctionnement du moteur asynchrone triphasé à alimentation en deux phases**

On analyse le comportement des moteurs asynchrones triphasés au cas de l'arrêt de l'alimentation de l'une de ces deux phases, les résultats obtenus étant utiles pour adopter des schémas de protection et sygnalisation correctes, afin d'éviter le fonctionnement en deux phases de ces moteurs.

Energetica 29 (1981), no. 4, p. 183—187

CD 621.313.333 : 537.315

Gh. Ijac, M. Beșa, D. M. Potlog et a.: **Le comportement des groupes des entrainements électriques avec des moteurs asynchrones au cas des creux de tension**

Energetica 29 (1981), no. 4, p. 188—193

CD 621.314.53

D. Cernomazu: **Considérations sur le comportement dans l'exploitation des commutateurs à prises du type linéaire. Contributions à leur perfectionnement**

Energetica 29 (1981), no. 4, p. 193—199

CONTENTS

DC 621.311.25 : 621.039.001.5

I. Ursu, I. Purica, Al. Bădescu-Singureanu and *L. Schächter:* **Physics research with potential applicability in energetics — the direct conversion of the nuclear energy**

The fundamental principles of this conversion type are presented, as well as data referring to the researches carried-out all over the world in this field. The results obtained by the Physics Institute of Bucharest are also given.

Energetica 29 (1981), nr. 4, p. 149—154

DC 621.47 : 536.7.001.5

G. Popescu, M. Dăncilă and *V. Vărzaru:* **Thermodynamic cycle solar power plants — present stage and development tendencies**

After a brief discription of the technologies in use for solar energy thermodynamic conversion (at low temperature, as well as medium and high temperature), different variants of schemes for thermodynamic cycle solar power stations are presented, whose analysis reveals their energetic efficiency for the research-development programs in this field.

Energetica 29 (1981), nr. 4, p. 154—166

DC 697.34 : 621.315.28.001.1

N. Niculescu, N. David, C. Corcodel and *M. Iordache:* **Contribution to the optimization of district heating networks dimensioning**

The dimensioning manner used in the designing is described, after which the authors propose a new algorithm in view to determine the optimum diameters which make up a district heating network. The conclusions drawn from the new algorithm application in designing are also presented.

Energetica 29 (1981), nr. 4, p. 166—169

CD 662.64/66

E. Gatman-Săndulescu, E. Antoniu and *A. Penu:* **New possibilities for determining the low-rank fuels quality**

Energetica 29 (1981), nr. 4, p. 169—175

DC 621.311.22/23 : 628.52 : 662.64/66

M. Maftei, C. Moțiu, A. Radu a.o.: **Physical simulation in the hydraulic channel of the pollutants dispersion into atmosphere in the proximity of thermal power plants**

The studies in this field prove that the physical simulation in the hydraulic channel is an efficient means by which one can predict the pollutants concentrations gone with the wind in case of different relief conditions, which modify the results in comparison with a flat ground. The modelling is extremely useful in the designing of the new energetic units, as well as for the modifying of the existent ones in view to utilise new kinds of fuels.

Energetica 29 (1981), nr. 4, p. 175—179

DC 621.311.22/23 : 620.193

W. Gooss: **Readditivation of the turbine oils used in turbogenerator operation**

The article presents the solution to the problem occured in some thermal power plants, namely the corrosivity of the oils used in operation, which requires their readditivation.

Energetica 29 (1981), nr. 4, p. 179—183

DC 621.313.333

L. Canciu, V. Dobre and *N. Oprișiu:* **Three-phase asynchronous motor operation with two-phase feeding**

The article presents an analysis of the three-phase asynchronous motors behaviour when the feeding to one of the phases is cut-off. The results obtained contribute to the adopting of correct protection and signalling schemes in order to avoid the two-phase functioning of these motors.

Energetica 29 (1981), nr. 4, p. 183—187

DC 621.313.333 : 537.315

Gh. Ijac, M. Beșa, D. M. Potlog a.o.: **The behaviour of the electric drive groups with asynchronous motors under voitage gaps**

Energetica 29 (1981), nr. 4, p. 188—193

DC 621.314.53

D. Cernomazu: **Remarks on the behaviour liniar type switch plugs in operation. Contribution to their improvement**

Energetica 29 (1981), nr. 4, p. 193—199

Cercetări de fizică cu aplicabilitate potențială în energetică: conversia directă a energiei nucleare*)

acad. prof. dr. doc. **I. Ursu**,
conf. dr. **I. Purica**,
dr. **Al. Bădescu-Singureanu**,
dr. ing. **L. Schächter**
— Institutul de fizică și inginerie nucleară București —

Considerații generale

În contextul necesităților crescînde de energie pe care le impune dezvoltarea economico-socială a lumii contemporane și al limitării resurselor clasice, se impune din ce în ce mai mult ca politică de stat în toate țările, pe lîngă raționalizarea și conservarea resurselor energetice tradiționale, dezvoltarea impetuoasă a cercetărilor menite să atragă în circuitul energetic noi surse de energie și să dezvolte tehnologii neconvenționale de producere a energiei, cu randamente superioare celor existente, și de recuperare a energiilor secundare. În majoritatea lor, aceste cercetări se axează pe procese fundamentale noi, încă insuficient cunoscute pînă în prezent, care, potențial, pot contribui la rezolvarea problemelor energetice.

În țara noastră, din inițiativa secretarului general al P.C.R., tovarășul Nicolae Ceaușescu, încă înainte de apariția crizei energetice mondiale, a fost demarat un amplu program de dezvoltare și utilizare a unor forme noi, neconvenționale de energie, program bazat atît pe resursele naturale de care dispunem, cît și pe marele potențial al industriei și al cercetării științifice proprii. Activitatea de cercetare din cadrul acestui program național se desfășoară sub directa coordonare și cu sprijinul Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie, bucurîndu-se permanent de atenția și îndrumarea tovarășei academician dr. ing. Elena Ceaușescu, președinte al C.N.S.T. Aceste cercetări își vor aduce contribuția lor la realizarea prevederii stabilite la Consfătuirea de lucru a Comitetului Central al P.C.R. din mai 1980, ca în 1985 2,5—3 milioane tone de combustibil să provină din surse noi.

Un rol deosebit îl au cercetările de fizică orientate spre utilizarea noilor surse de energie. Sarcini importante revin cercetărilor de fizică nucleară menite să contribuie, prin studierea de noi procese fundamentale, la elaborarea de tehnologii neconvenționale. În acest cadru, C.N.S.T. a dezvoltat la Centrul Național de Fizică, în Institutul de fizică și inginerie nucleară, cercetări privind conversia directă a energiei nucleare în energie electrică. Demarate în urma unor studii preliminare de fundamentare temeinice, care au ținut seama de realizările pe plan mondial, de intensele cercetări care se întreprind la laboratoare de prestigiu din S.U.A. și U.R.S.S., precum și de perspectivele pe care le oferă, aceste cercetări realizate cu forțe proprii, beneficiind de bogata bază materială pe care partidul și statul nostru au creat-o la Centrul Național de Fizică, au permis obținerea unor rezultate comparabile cu cele obținute în străinătate.

Cercetările cuprind o arie largă de probleme legate, cu precădere, de conversia energiei eliberate în procesul de fisiune nucleară direct în energie electrică. În lucrarea de față se prezintă principiile fundamentale ale acestui tip de conversie, date asupra cercetărilor care se întreprind pe plan mondial în această direcție și unele rezultate obținute de cercetările din IFIN.

Conversia directă a energiei nucleare în energie electrică

După cum se observă din figura 1, în care sînt prezentate diferitele căi de transformare a energiei nucleare în alte forme de energie, transformarea energiei nucleare într-o altă formă de energie se poate face sau într-o singură etapă (de exemplu : energie nucleară în energie termică) sau poate comporta mai multe etape, ca în cazul conversiei clasice : conversia energiei nucleare în energie electrică prin lanțul : energie nucleară → energie termică → energie mecanică → energie electrică. Transformarea energetică care comportă o singură etapă este numită de obicei „conversie directă", spre deosebire de „conversia clasică".

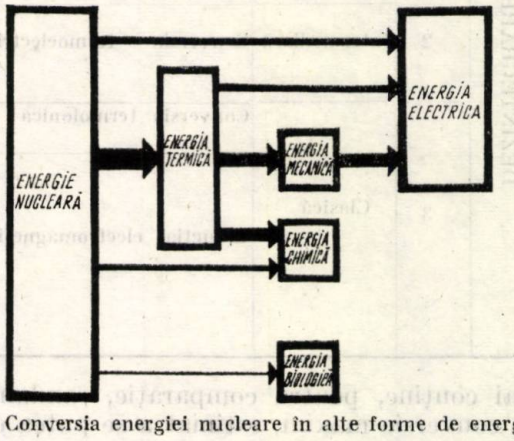


Fig. 1. Conversia energiei nucleare în alte forme de energie.

Procesele nucleare a căror energie poate fi utilizată pentru conversia practică în alte forme de energie sînt : fisiunea nucleară, fuziunea nucleară și dezintegrarea radioactivă. Diferitele metode și instalații în care se poate efectua în prezent conversia energiei nucleare în energie electrică, clasificate după procesul nuclear a cărui energie este supusă transformării, sînt prezentate sintetic în tabelul 1, care, în plus,

*) Comunicare prezentată la a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor, cu tema: „Probleme actuale privind economisirea combustibililor și energiei în instalațiile industriale", Brașov, 4—6 dec. 1980.

Tabelul 1

Procesul nuclear utilizat	Nr. etape de transf.	Tip de conversie	Metoda de obținere a energiei electrice	Instalația în care se efectuează conversia		Randament de conversie maxim	Țara care dezvoltă metoda
FISIUNE NUCLEARĂ	1	Directă	Colectarea directă a sarcinilor electrice ale fragmentelor de fisiune	Reactor cu celule de conversie directă a energiei de fisiune		> 50% (teoretic)	S.U.A. U.R.S.S.
	2	Intermediară	Conversia termoionică	Reactor termoionic		15%	S.U.A. U.R.S.S. Franța Anglia
			Conversia termoelectrică	Reactor termoelectric		7%	S.U.A. U.R.S.S.
	3	Clasică	Inducția electromagnetică	Reactor cu turbogenerator		30%	Toate țările care posedă C.N.E.
FUZIUNE NUCLEARĂ	1	Directă	Colectarea directă a sarcinilor electrice ale ionilor pozitivi din plasmă	Reactor de fuziune cu conversie directă		~96% (teoretic)	S.U.A U.R.S.S. Anglia
	3	Clasică	Inducția electromagnetică	Reactor de fuziune cu turbogenerator		~40%	S.U.A.
DEZINTEGRARE RADIOACTIVĂ	1	Directă	Colectarea directă a sarcinilor electrice ale radiațiilor radioactive	Baterii nucleare	Baterie cu colectarea directă a radiațiilor alfa	1%	S.U.A. U.R.S.S.
					Baterie cu colectarea directă a radiațiilor beta	1%	S.U.A. U.R.S.S. Anglia
					Baterie cu colectarea directă a electronilor Compton	1%	S.U.A. Italia
			Ionizarea produsă de radiațiile radioactive în gaze sau vapori		Celula Ohmart	10^{-2}%	S.U.A.
					Celula Klein	10^{-1}%	Franța
			Excitarea unui semiconductor în urma iradierii cu radiații radioactive	Baterii radiovoltaice	Baterie betavoltaică	3%	S.U.A. Anglia
					Baterie fotovoltaică	10^{-1}%	Franța R.F.G. U.R.S.S.
	2	Intermediară	Conversia termoelectrică	Generatori cu radioizotopi	Generator termoelectric cu radioizotopi	10%	S.U.A. U.R.S.S. Anglia Franța
	3	Clasică	Conversia termoionică		Generator termoionic cu radioizotopi	5%	S.U.A. Franța
			Inducția electromagnetică		Generator cu radioizotopi utilizînd ciclul Brayton	25%	S.U.A. Franța
					Generator cu radioizotopi utilizînd ciclul Rankine	20%	S.U.A. Franța
					Generator cu radioizotopi utilizînd ciclul Stirling	40%	Olanda Franța S.U.A.

mai conține, pentru comparație, randamentul de conversie maxim, estimat a se putea obține prin metoda respectivă și țările care dezvoltă în momentul actual metodele de conversie considerate.

Lucrarea de față se ocupă în exclusivitate de conversia directă a energiei nucleare de fisiune în energie electrică — prin metoda colectării sarcinilor electrice ale fragmentelor de fisiune, metodă care a făcut obiectul unor cercetări complexe efectuate de către autori în cadrul IFIN.

Principiul metodei de conversie directă în energie electrică a energiei de fisiune este următorul [1]:

Celula elementară de conversie directă, a cărei secțiune transversală este reprezentată în figura 2, este alcătuită din doi cilindri coaxiali, emiterul E și colectorul C, între care se găsește un vid înaintat.

Cilindrul E are depus pe suprafața sa un strat subțire F, din material fisionabil uraniu îmbogățit 90% cu izotopul U-235 sau Pu-239 și joacă rol de catod, în timp ce cilindrul C,

izolat electric față de E, joacă rol de anod. Cînd o astfel de celulă este introdusă într-un flux de neutroni termici într-un reactor nuclear,

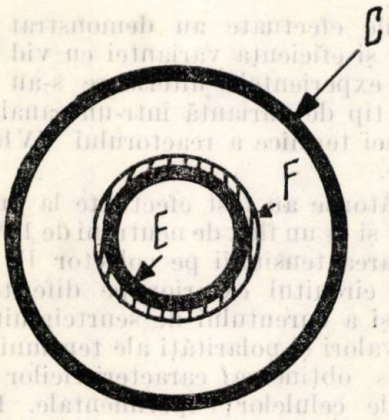


Fig. 2. Secțiune transversală prin celula elementară de conversie directă în energie electrică a energiei de fisiune.
E — emiter; C — colector; F — material fisionabil.

aceștia provoacă fisiunea unui număr de nuclee de U—235 din stratul F. O parte din fragmentele de fisiune ionizate, care se nasc astfel în stratul de material fisionabil, datorită marii lor energii cinetice, în medie 80 MeV de fiecare fragment, iese din acest strat cu o sarcină electrică de 20 de sarcini electronice pozitive. Ele străbat spațiul vidat dintre electrozi și și depun sarcina electrică pe colectorul C, care se încarcă cu electricitate pozitivă, făcînd să apară o diferență de potențial între electrozi și deci un cîmp electric în spațiul vidat dintre ei. Acest cîmp electric frînează fragmentele de fisiune care au sarcină de 20 e. Astfel, la o anumită valoare a cîmpului electric, fragmentele de fisiune vor fi întoarse înapoi pe catod. Această valoare corespunde tensiunii maxime ce se poate obține între electrozii celulei, care în medie este de 4 milioane volți. Ca la orice sursă de curent, aceste celule au o putere maximă pe o rezistență externă cînd aceasta este egală cu rezistența internă.

În esență, celula de conversie directă de fisiune este un generator de curent în care transportul sarcinilor pe anod se face de către însuși fragmentul de fisiune, datorită energiei cinetice pe care a primit-o în procesul de fisiune, energie pe care o regăsim în circuitul extern sub formă de energie electrică. Randamentul unei celule de conversie depinde sensibil de forma geometrică a celulei. Pentru o celulă cu catodul punctiform și anodul o sferă concentrică cu catodul, randamentul poate atinge 80%, iar pentru catod și anod sub formă de placă nu depășește 17%. Condițiile constructive din reactorii nucleari impun o geometrie de formă cilindrică. La această geometrie, randamentul maxim este de 24%.

În aceste condiții, celulele de conversie directă a energiei nucleare în energie electrică pot fi utilizate în construcții de reactori nucleari care să furnizeze 80% din energie sub formă de energie termică la parametrii scăzuți pentru procese industriale și 20% sub formă de energie electrică. Un astfel de reactor ar avea un randament maxim de producere a energiei utile (termică și electrică) și ar furniza curentul electric continuu, direct la o tensiune foarte înaltă, oferind posibilitatea de transport direct prin linii de curent continuu de înaltă tensiune a energiei electrice produse. În plus, neconținînd părți mecanice în mișcare, sistemul de generare, în acest mod, ar avea o fiabilitate ridicată, iar eliminarea echipamentului clasic de transformare a căldurii nucleare în energie electrică ar conduce la economii de circa 30% din investițiile unei centrale nuclearoelectrice bazate pe „conversia clasică".

În realitate, funcționarea celulei de conversie nu este atît de simplă, datorită unei multitudini de procese fizice complexe care au loc în interiorul ei și care, în mare parte, nu sînt încă elucidate. Spre exemplu, datorită atît ionizărilor provocate de trecerea fragmentului de fisiune prin stratul de U—235 cît și spectrului de raze beta al produșilor de fisiune, de pe emiter zboară spre anod mulți electroni care, ajungînd aici, îi anulează parțial sarcina pozitivă, împiedicînd în acest fel funcționarea celulei. De aceea una dintre problemele majore pe care le pune realizarea practică a unor astfel de dispozitive de conversie directă este împiedicarea acestor electroni de a ajunge pe anod, utilizînd cîmpuri electrice și magnetice dispuse corespunzător. Un alt grup de probleme delicate îl constituie eliminarea curenților de fugă prin găsirea pentru construcția celulei a unor izolatori care să păstreze valori mari ale rezistenței de izolație și în condițiile cîmpului intens de radiații în care trebuie să funcționeze stabil celulele de conversie directă.

Cercetări asupra conversiei directe în energie electrică a energiei de fisiune se întreprind în special în S.U.A., în scopul construirii unui reactor nuclear care să producă direct energie electrică de înaltă tensiune. În acest scop au fost realizate celule de conversie directă care, introduse într-un flux de neutroni de 10^{13} n/cm^{2}s, au furnizat tensiuni stabile de cîțiva kV și curenți de ordinul μA, și s-a întocmit proiectul unui reactor cu o putere de 500 MWt avînd ca moderator grafitul și ca elemente de combustibil nuclear celule de conversie directă cu U—235 ca material fisionabil [3], [4]. În ultimul timp se întreprind și în U.R.S.S. cercetări teoretice asupra acestei probleme [5]. Explicația numărului relativ mic de lucrări publicate în literatura științifică deschisă constă în importanța deosebită pe care le pot avea aceste cercetări și pentru alte domenii decît energetica, de exemplu cercetările spațiale.

Este necesar de menționat că problemele teoretice și de ordin tehnologic pe care le implică realizarea unui reactor energetic cu celule de conversie directă necesită încă efectuarea unor cercetări extrem de complexe și de mare anvergură.

În continuare se prezintă unele rezultate obținute de autori în cercetările de conversie directă a energiei de fisiune în energie electrică, efectuate în cadrul IFIN, cercetări care și-au propus să rezolve unele dintre aceste probleme.

Rezultate ale cercetărilor întreprinse în IFIN

Cercetările desfășurate în IFIN au utilizat o gamă largă de dispozitive de conversie, proiectate și realizate în cadrul colectivului respectiv [1], [2], [6], [7], [8].

Astfel, pentru studiul conversiei directe a energiei nucleare de fisiune în energie electrică, s-au utilizat celule de fisiune în care materialul fisionabil era depus pe un electrod central cilindric, prin electroliză. S-a utilizat un strat gros de cîțiva microni de uraniu îmbogățit 93% în U—235. Distanța dintre acest electrod — catodul — și anodul colector era de 2—3,5 cm. Între anod și catod era dispusă o grilă din fire de oțel inoxidabil pentru supresarea electronilor secundari.

S-au utilizat mai multe variante de celule, dintre care o variantă în care era menținut un vid static și se efectua absorbția produselor gazoase de fisiune în getteri speciali incluși în celulă, iar alta în care vidul era asigurat dinamic.

Testările efectuate au demonstrat funcționalitatea și eficiența variantei cu vid dinamic.

Toate experiențele ulterioare s-au efectuat cu acest tip de variantă într-un canal vertical al coloanei termice a reactorului VVR-S de la Măgurele.

Măsurătorile au fost efectuate la puterea de 2000 kW și la un flux de neutroni de 10^9 n/cm^2. s.

Măsurarea tensiunii pe colector V_a a curentului în circuitul exterior pe diferite sarcini externe și a curentului de scurtcircuit pentru diferite valori și polarități ale tensiunii pe grilă a permis obținerea caracteristicilor voltamperice ale celulelor experimentale. Domeniul de variație a sarcinilor externe a fost cuprins între 10^{12} și 10^6 Ω.

În figura 3 se dă un exemplu de caracteristici voltamperice ale unei celule pentru valori ale tensiunii de grilă variind între —500 și +700 V, iar în figura 4 este reprezentată variația puterii unei celule cu rezistența de sarcină R.

Trebuie menționat că rezistența inițială a celulelor în afara cîmpului de radiații a fost de 10^{12}—10^{13} Ω.

Așa cum se observă din caracteristica voltamperică, introducerea în cîmpul de radiații duce la scăderea rezistenței de scurtcircuit la

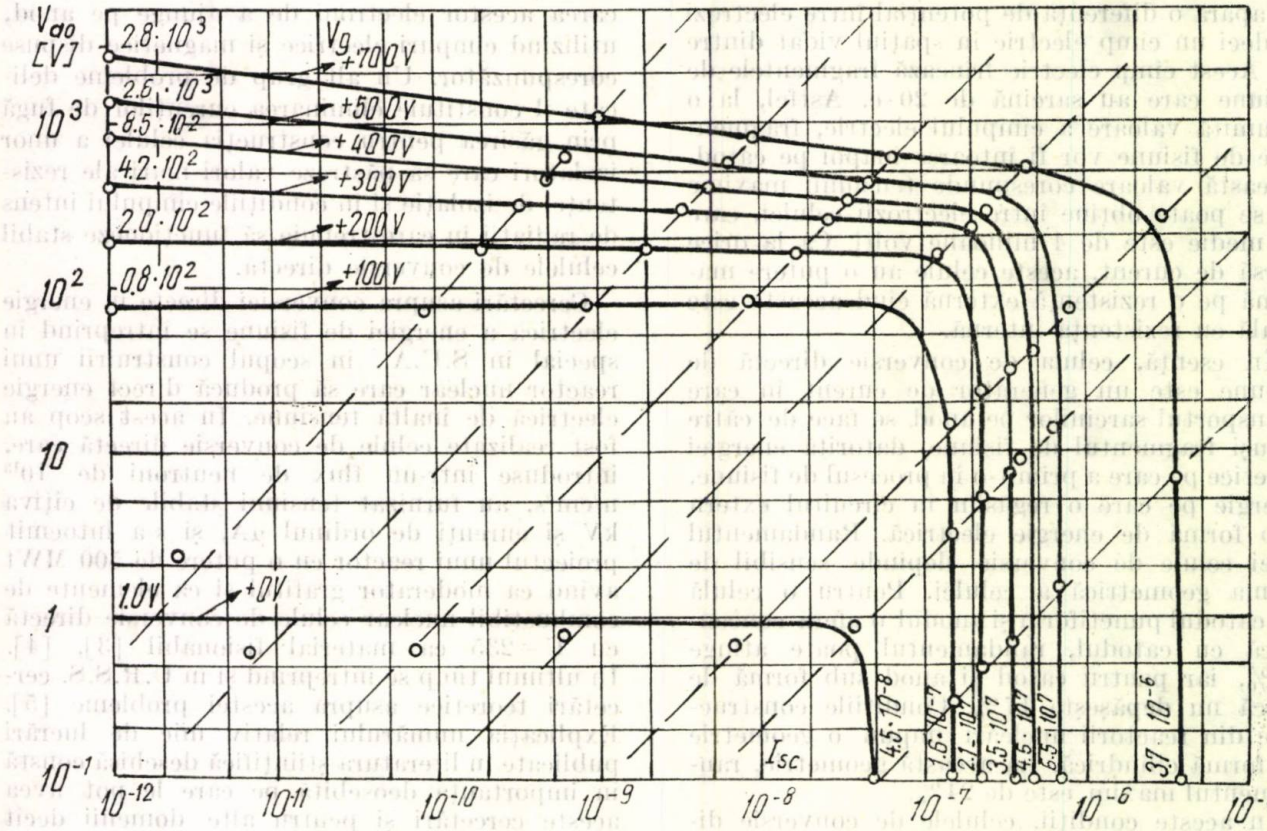


Fig. 3. Caracteristici voltampermetrice ale unei celule de conversie directă.

valoarea $2{,}2 \cdot 10^7\ \Omega$, iar tensiunea V_a este de -1 V. Pentru valori pozitive ale tensiunii pe grilă, rezistența internă a celulei crește cu ten-

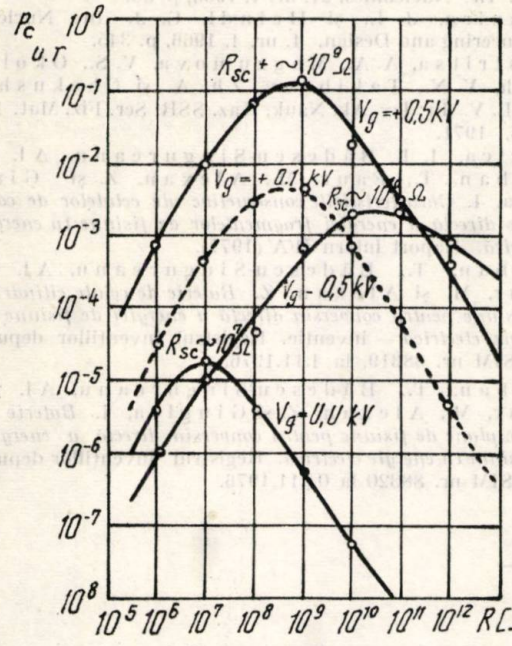


Fig. 4. Variația puterii unei celule de conversie directă în funcție de rezistența de sarcină, R.

siunea grilei, atingînd valori în domeniul $10^9\Omega$, pentru valori negative ale tensiunii pe grilă ea ajungînd la $10^{10}\ \Omega$.

O preocupare principală a constituit-o comportarea rezistenței de izolație în cîmpul de radiații.

Din testările și măsurătorile efectuate a rezultat că aceasta nu scade cu mai mult de un ordin de mărime în cîmpul de radiații, și în vid, în cazul izolației utilizate de noi, asigurindu-se astfel o valoare superioară rezistenței interne pentru acest domeniu de tensiune pe grilă.

În figura 5 sînt redate curbele de variație a rezistenței interne, iar în figura 6 s-a reprezentat modul cum variază tensiunea anodică cu tensiunea grilei, pentru tensiuni pozitive sau negative ale grilei.

Așa cum rezultă din măsurătorile efectuate, de exemplu cele reprezentate în figura 3, celulele experimentate au furnizat valori reproductibile f.e.m. de ordinul a 5—15 kV și curenți de scurtcircuit de ordinul 10^{-6} A. Aceste valori sînt comparabile cu cele obținute de laboratoarele din S.U.A.

Valorile de f.e.m. și de curenți de scurtcircuit ale celulelor realizate de noi au fost obținute la un flux neutronic cu patru ordine de mărime mai mici decît cele utilizate în S.U.A.: 10^9 n/cm^2·s, față de 10^{13} n/cm^2·s. Menționăm că puterea celulelor este proporțională cu valoarea fluxului de neutroni la care este expusă.

În cadrul lucrărilor noastre a fost elaborat de asemenea un model teoretic care a explicat unele procese din celulă, obținîndu-se o bună concordanță cu datele experimentale [1].

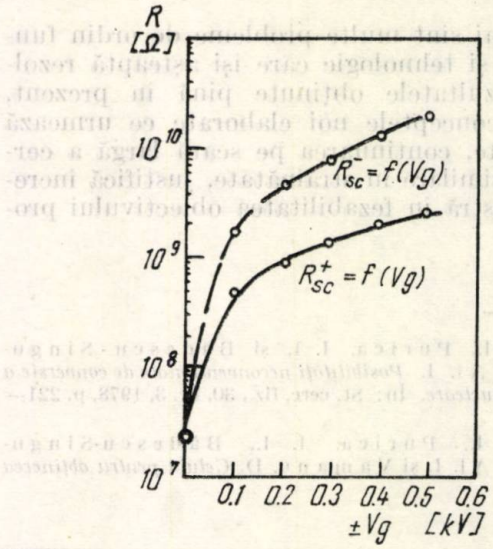


Fig. 5. Variația rezistenței interne a unei celule de conversie directă în funcție de tensiunea aplicată pe grilă.

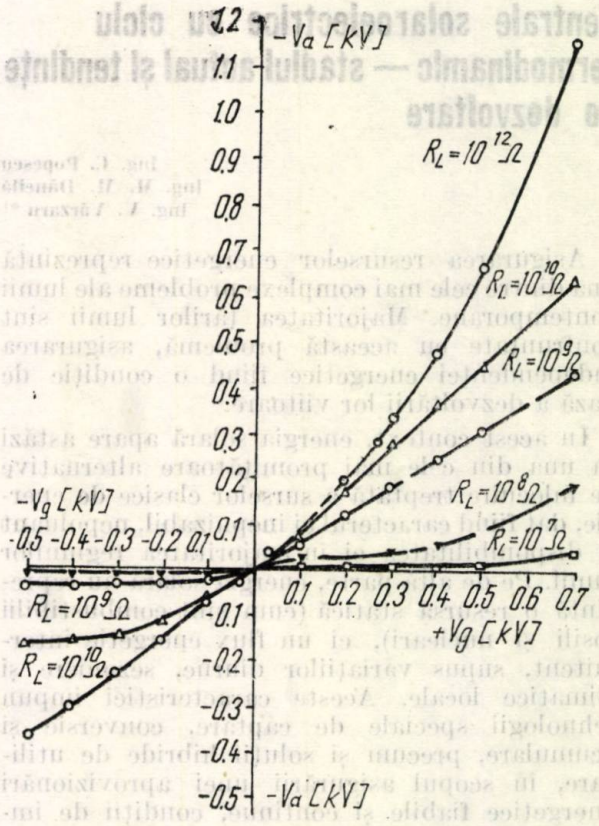


Fig. 6. Variația tensiunii anodice a unei celule de conversie directă în funcție de tensiunea aplicată pe grilă.

Concluzii

Cercetările efectuate cu celulele experimentale realizate la IFIN au demonstrat posibilitatea dezvoltării în țara noastră, în cadrul

Programului național de surse noi, a unor cercetări complexe, care să aibă ca obiectiv final realizarea unor surse de energie electrică cu ajutorul conversiei directe a energiei nucleare.

Deși mai sînt multe probleme de ordin fundamental și tehnologic care își așteaptă rezolvarea, rezultatele obținute pînă în prezent, ideile și conceptele noi elaborate ce urmează a fi testate, continuarea pe scară largă a cercetărilor similare în străinătate, justifică încrederea noastră în fezabilitatea obiectivului propus.

Bibliografie

[1] Ursu, I., Purica, I. I. și Bădescu-Singureanu, Al. I. *Posibilități neconvenționale de conversie a energiei nucleare.* În: St. cerc. fiz., 30, nr. 3, 1978, p. 221—239.

[2] Ursu, I., Purica, I. I., Bădescu-Singureanu, Al. I. și Vamanu, D. *Celulă pentru obținerea de energie electrică direct din energia nucleară de fisiune.* Brevet de invenție nr. 70905, invenție înregistrată la OSIM sub nr. 95163 la 14.09.1978.

[3] Heindl, C. J., Krieve, F. W. și Meghreblian, R. V. În: Nucleonics, 21, nr. 4, 1963, p. 80.

[4] Shapiro, J. L. și Heindl, C. J. În: Nuclear Engineering and Design, 4, nr. 4, 1966, p. 345.

[5] Kostritsa, A. A., Magzumova, V. S., Okolovich, V. N., Takibaev, Zh. A. și Chekushina, L. V. În: Izv. Ak. Nauk, Kaz. SSR, Ser. Fiz. Mat. 42, nr. 6, 1971.

[6] Purica, I. I., Bădescu-Singureanu, Al. I., Șerban, T., Faur, M., Alexan, Z. și Giuglea, I. *Caracteristicile constructive ale celulelor de conversie directă a energiei fragmentelor de fisiune în energie electrică.* Raport intern IFA (1977).

[7] Șerban, T., Bădescu-Singureanu, Al. I., Faur, M. și Alexan, Z. *Baterie de celule cilindrice de fisiune pentru conversia directă a energiei de fisiune în energie electrică* — invenție. Registrul invențiilor depuse la OSIM nr. 88319, la 4.11.1976.

[8] Șerban, T., Bădescu-Singureanu, Al. I., Faur, M., Alexan, Z. și Giuglea, I. *Baterie de celule plane de fisiune pentru conversia directă a energiei de fisiune în energie electrică.* Registrul invențiilor depuse la OSIM nr. 88320 la 04.11.1976.

Centrale solaroelectrice cu ciclu termodinamic — stadiul actual și tendințe de dezvoltare

Ing. **C. Popescu**
Ing. **M. M. Dăncilă**
Ing. **V. Vărzaru** *)

Asigurarea resurselor energetice reprezintă una dintre cele mai complexe probleme ale lumii contemporane. Majoritatea țărilor lumii sînt confruntate cu această problemă, asigurarea independenței energetice fiind o condiție de bază a dezvoltării lor viitoare.

În acest context, energia solară apare astăzi ca una din cele mai promițătoare alternative de înlocuire treptată a surselor clasice de energie, dat fiind caracterul ei inepuizabil, nepoluant și disponibilitatea ei în majoritatea regiunilor lumii. Pe de altă parte, energia solară nu reprezintă o resursă statică (cum sînt combustibilii fosili și nucleari), ci un flux energetic intermitent, supus variațiilor diurne, sezoniere și climatice locale. Aceste caracteristici impun tehnologii speciale de captare, conversie și acumulare, precum și soluții hibride de utilizare, în scopul asigurării unei aprovizionări energetice fiabile și continue, condiții de importanță deosebită în special pentru cazul conversiei energiei solare în energie electrică.

*) Ing. Constantin Popescu este șeful Secției energetică generală, industrială și surse noi de energie (SEGIS) din ICEMENERG; ing. Marius M. Dăncilă și ing. Victor Vărzaru sînt cercetători științifici principali la ICEMENERG—SEGIS.

În prezent, pe plan mondial, există două direcții principale (filiere) care permit conversia energiei solare în energie electrică :

— conversia fotovoltaică, directă a energiei radiației electromagnetice luminoase în energie electrică ;

— conversia termodinamică, indirectă a energiei solare.

Acest din urmă procedeu, care face obiectul lucrării de față, realizează conversia în două faze : conversia energiei de radiație în căldură prin intermediul unui sistem de captare, urmată de conversia căldurii în energie electrică prin intermediul unui ciclu termodinamic.

Tehnologiile de conversie termodinamică a energiei solare se pot baza fie pe captatoare fără concentrare (temperaturi joase), fie pe captatoare cu concentrare (temperaturi medii și înalte).

1. Conversia termodinamică la joasă temperatură

Conversia radiației solare în căldură de joasă temperatură (sub 100°C) se realizează cu captatoare plane, care au ajuns la un anumit nivel de maturitate tehnică și se produc în serie. Căldura colectată de cîmpurile de captatoare se introduce într-un ciclu termodinamic Rankine, avînd ca agent de lucru un fluid volatil (freon sau fluide similare). Schema unei instalații de conversie constă din generatorul de vapori, grupul turbogenerator, condensatorul și pompa de alimentare. Inovațiile tehnice recente au permis realizarea unor turbine pentru agenți volatili cu randamente interne convenabile, precum și rezolvarea problemelor

de etanșeitate. Schemele centralelor solare electrice de joasă temperatură sînt prevăzute cu sisteme de acumulare de căldură care sînt dimensionate atît pentru preluarea variațiilor de scurtă durată ale intensității radiației solare (treceri de nori), cît și pentru asigurarea unei rezerve de căldură care permite funcționarea instalației după orele de însoleiere. Dat fiind nivelul scăzut de temperatură, acumularea se face în căldura sensibilă a apei stocate în rezervoare.

După o serie de aplicații în unități de capacitate redusă (de ordinul cîtorva kW_e), au fost realizate instalații cu puteri de ordinul zecilor de kW_e. La sfîrșitul anului 1979, pe plan mondial existau circa 80 de unități în funcțiune sau în curs de execuție, în 20 de țări diferite [1].

Captarea radiației solare sub formă termică, fără concentrare, beneficiază atît de aportul radiației directe, cît și al radiației difuze. Aceasta permite funcționarea centralelor solaroelectrice de joasă temperatură și în condiții de slabă nebulozitate.

Soluțiile constructive și tehnologiile de realizare a componentelor pentru centralele de joasă temperatură nu prezintă dificultăți speciale, fiind astfel accesibile și țărilor în curs de dezvoltare. În plus, acumularea căldurii sub formă de apă caldă permite realizarea unor regimuri de funcționare după orele de însoleiere, eventual la orele de vîrf.

Investițiile specifice sînt ridicate datorită consumului apreciabil de materiale, și în special de materiale energointensive (aluminiu, sticlă, laminate de oțel etc.). Analizele tehnico-economice comparative indică valori de 3000—4000 $/$kW_i$ pentru investiția specifică în cazul producției de serie a echipamentelor [2].

Puterile unitare sînt limitate la 200—300 kW_e, datorită suprafeței mari ocupate de captatoarele solare, ceea ce implică consum de energie și pierderi de căldură la transportul agentului caloportor. Din considerentele menționate mai sus și ca urmare a eficienței globale mici (2,5—3,0%), s-a trecut la realizarea de centrale solaroelectrice cu concentrare, concept care asigură randamente mai ridicate și permite obținerea de puteri unitare mai mari.

În cadrul Institutului de cercetări și modernizări energetice (ICEMENERG) din București, cercetările în domeniul centralelor solaroelectrice au început în anul 1976. Prima etapă a acestor cercetări (1976—1980) a avut ca scop realizarea unei centrale solaroelectrice de mică putere, cu caracter de pilot experimental demonstrativ, de 30 kW_e. Cunoscînd posibilitățile reale de realizare a captatoarelor și caracterul incipient al cercetărilor în domeniu, s-a hotărît realizarea unei instalații cu captatoare plane, cu ciclu termodinamic de joasă temperatură, folosind ca agent de lucru Freon-11.

Pilotul experimental de 30 kW_e s-a decis să fie astfel conceput încît să reprezinte de fapt un laborator de cercetare, respectiv o bază materială a Institutului pentru dezvoltarea în viitor a cercetărilor în domeniul centralelor solare de temperaturi înalte. Totodată, cercetările au fost astfel direcționate încît componentele principale ale centralei solaroelectrice să poată fi valorificate independent. Astfel, grupul turbogenerator pe freon, după asimilare, va putea fi folosit pentru valorificarea căldurii apelor geotermale sau a căldurii reziduale de joasă temperatură din industrie, în situațiile și atîta timp cît nu există consumatori de căldură în vecinătatea acestor surse.

Profitînd de amplasarea celor două cîmpuri de captatoare solare (2×1000 m²) în vecinătatea Centralei electrice de termoficare București-Sud, acestea vor putea fi valorificate pentru preîncălzirea unei părți din apa brută de adaos necesară centralei, asigurînd astfel o economie de circa 15 tep/an, la o durată de utilizare, în acest regim de funcționare, de circa 1500 ore/an.

De asemenea, se prevede realizarea unui experiment de funcționare a captatoarelor solare cuplate cu o pompă de căldură de 0,1 Gcal/h, în vederea stabilirii soluțiilor optime și a economicității energetice a acestor sisteme.

Legat de cele de mai sus, instalațiile experimentale de la ICEMENERG sînt concepute sub forma a trei stații experimentale independente: stație-pilot pentru experimentarea grupurilor turbogeneratoare de joasă temperatură, stație-pilot pentru acumulare de căldură și stația de captare a energiei solare. Prin funcționarea cuplată a acestor instalații se realizează schema centralei solaroelectrice pilot experimental de 30 kW_e. Punerea în funcțiune (în trim. II.1981) a instalației și experimentarea de durată vor permite obținerea experienței de funcționare și exploatare a unei centrale solaroelectrice în condițiile climatice și de poluare medie din țara noastră.

Principalele date funcționale ale centralei sînt următoarele:

a) Circuitul de colectare-acumulare:
- suprafață activă captatoare 1800 m²
- $\theta_{intr}/\theta_{ieșire}$ 73/80°C
- randament maxim captatoare 30%
- agent colectare apă tratată la 3 atm
- capacitate de acumulare 2×160 m³

b) Circuitul termodinamic pe freon:
- θ_{vap}/p_{vap} 70°C/4,2 ata
- θ_{cond}/p_{cond} 30°C/1,3 ata
- randamentul net al ciclului 6,7%

Puterea electrică nominală de 30 kW_e se obține la valoarea instantanee specifică a radiației solare de 0,85 kW_t/m^2. Capacitatea efectivă de acumulare de circa 300 m³ permite funcționarea centralei circa 5 ore la puterea nominală.

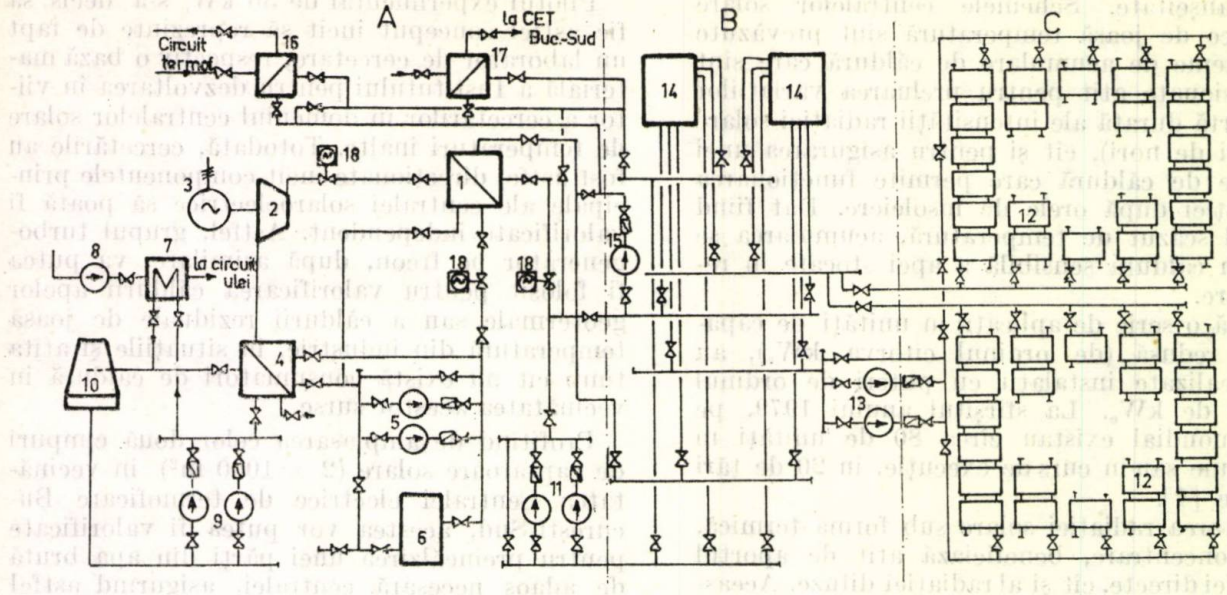


Fig. 1. Schema tehnologică a centralei solaroelectrice de 30 kW_e

1 — generator vapori freon-11; *2* — turbină de freon-11; *3* — generator electric; *4* — condensator freon-11; *5* — pompă freon TERMA-65; *6* — rezervor freon-11; *7* — răcitor ulei; *8* — pompă ulei; *9* — pompe răcire; *10* — turn răcire tiraj forțat; *11* — pompă alimentare; *12* — colector solar plan; *13* — pompă de circulație; *14* — rezervor apă caldă; *15* — pompă alimentare rezervă termoficare; *16* — schimbător de căldură apă-apă; *17* — schimbător de căldură apă brută; *18* — ventile reglare automată; *A* — stație-pilot pentru experimentarea grupurilor turbogeneratoare cu freon; *B* — stație-pilot experimentală pentru acumulare de căldură; *C* — cîmp de colectoare solare 2 × 1000 m^2.

În figura 1 se prezintă schema tehnologică a instalației.

2. Conversia termodinamică la medie și înaltă temperatură

Datorită randamentelor de conversie substanțial mai ridicate, precum și posibilităților de realizare a unor unități de puteri unitare mai mari, odată cu evoluția tehnologiilor de realizare a captatoarelor solare s-a trecut la instalații de conversie care folosesc concentrarea radiației solare. Acest tip de instalații sînt cele mai adaptate producției centralizate de energie electrică prin conversie termodinamică. Instalațiile experimentale și demonstrative cu concentrare, realizate sau în curs de realizare, au puteri de la cîțiva kW_e la 10 MW_e. Studiile efectuate prevăd posibilitatea măririi puterilor unitare pînă la 75—100 MW_e [3].

Între instalațiile care folosesc concentrarea radiației solare se disting două concepte diferite :

— Conceptul centralei solaroelectrice cu concentrare și turn, care constă dintr-un sistem de captare a radiației solare de pe o suprafață mare, prin intermediul unui sistem de oglinzi cu orientare alt-azimutală (heliostate). Radiația reflectată de cîmpul de oglinzi este concentrată pe receptorul termic (cazan), plasat în turn. Înălțimea turnului trebuie să fie suficient de mare pentru a limita la minimum pierderile de energie datorate distribuției amplasării în teren a heliostatelor. Receptorul termic transferă energia radiației solare reflectate, sub formă de căldură de înaltă temperatură, unui fluid caloportor care asigură evacuarea căldurii către sistemul de conversie termodinamică. În figura 2 se ilustrează schema de principiu pentru o centrală solară cu turn, prevăzută cu sistem de acumulare și ciclu termodinamic cu vapori de apă [4].

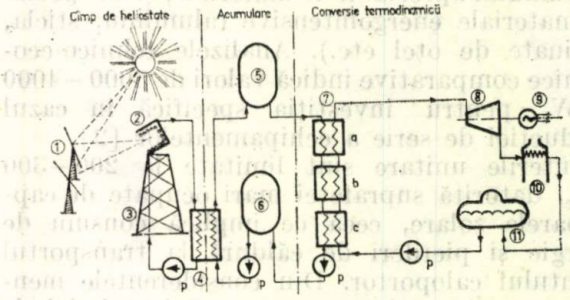


Fig. 2. Schema de principiu a unei centrale solaroelectrice cu heliostate și turn [4]

1 — cîmp de heliostate; *2* — receptor termic (cazan solar); *3* — turn; *4* — schimbător de căldură în circuitul primar; *5* — acumulator cald; *6* — acumulator rece; *7* — generator de vapori; *a* — supraîncălzitor; *b* — vaporizator; *c* — economizor; *8* — turbină cu abur; *9* — generator electric; *10* — condensator; *11* — degazor.

— Conceptul centralei solaroelectrice cu captatoare distribuite, în care radiația este concentrată în focarul fiecărui captator și transformată în căldură. Căldura rezultată poate fi transformată în energie electrică fie într-o unitate centrală care colectează căldura de la mai multe captatoare, fie chiar la nivelul focarului captatorului, într-o mașină termică specială de tip Brayton sau Stirling. În figura 3 se prezintă schema acestui concept de centrală [5].

La acest tip de centrale, captatoarele pot fi de următoarele tipuri :

a) cilindro-parabolice cu focalizare liniară, cu grad de concentrare cuprins între 30—50,

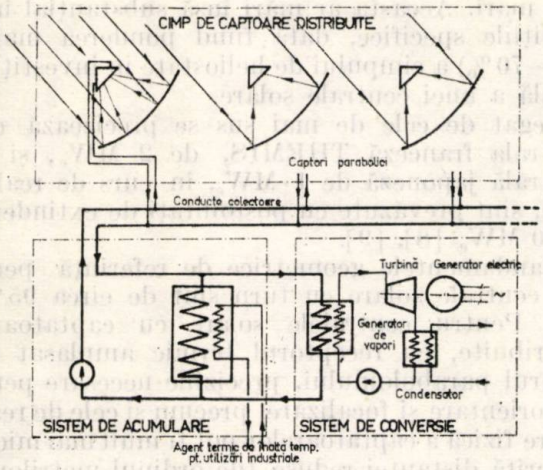


Fig. 3. Schema de principiu a unei centrale solare cu captatoare parabolice distribuite [5].

care permit obținerea unor temperaturi medii de ordinul a 200—300°C ;

b) parabolice cu focalizare punctiformă, care pot atinge, pentru construcții speciale, grade de concentrare mari, de circa 600—1000, respectiv temperaturi de ordinul a 600—750°C [6].

2.1. *Analiza randamentelor*

O prezentare succintă a pierderilor de energie la nivelul diferitelor componente ale unei centrale solaroelectrice va pune în evidență factorii de care depinde randamentul global al acesteia și va permite compararea diferitelor concepte și soluții tehnologice.

Vom face analiza pentru cazul unei centrale solare cu cîmp de heliostate și turn, concluziile putînd fi extinse și pentru conceptul centralelor solare cu captatoare distribuite.

2.1.1. *Puterea optică transmisă receptorului termic*

Randamentul optic al unui cîmp fix de heliostate este funcție de următoarele elemente principale :

a) Caracteristicile proprii ale heliostatelor :
— coeficientul de reflexie al oglinzilor ;
— calitatea execuției, respectiv păstrarea caracteristicilor de focalizare în condițiile solicitării structurii de rezistență sub acțiunea propriei greutăți și a eforturilor aerodinamice datorate vîntului ;
— precizia de orientare.

b) Optimizarea amplasării în teren a heliostatelor care, ținînd seama de latitudinea amplasamentului, de configurația topografică a terenului, de mărimea suprafeței reflectante totale și înălțimea turnului, trebuie să asigure un „factor cosinus" maxim (unghi mediu de incidență al radiației solare) și efecte minime ale umbririi suprafețelor active.

Elementele prezentate mai sus conduc la stabilirea randamentului optic (η_{op}) al cîmpului de heliostate sub forma produsului dintre randamentul mediu de reflexie (η_r), determinat de caracteristicile proprii ale heliostatelor, și randamentul geometric (η_g) rezultat din optimizarea, pe amplasamentul ales, a poziției heliostatelor. Ca urmare, puterea optică (P_{op}), transmisă de către cîmpul de heliostate spre receptorul termic situat în turn, va fi :

$$P_{op} = S_a \cdot E_i \cdot \eta_{op} = S_a \cdot E_i \cdot \eta_r \cdot \eta_g \text{ [kW]}, \quad (1)$$

unde :

S_a este suprafața totală activă de reflexie instalată, m² ;

E_i — puterea instantanee specifică a radiației solare directe, kW/m².

Pe baza cercetărilor efectuate pentru realizarea unor centrale solare pilot experimental în țări cu preocupări intense în domeniul energiei solare (S.U.A., Franța, Japonia etc.), precum și pe baza studiilor de evaluare desfășurate la ICEMENERG, se pot reține următoarele aspecte și date referitoare la puterea optică — element deosebit de important pentru evaluarea performanțelor, alegerea soluțiilor și amplasamentelor.

1. Puterea optică posibil de transmis receptorului termic, pentru o suprafață activă dată, determină puterea electrică a instalației și depinde de calitatea heliostatelor, de optimizarea factorilor geometrici în condițiile de latitudine și topografie ale amplasamentului, precum și de valoarea puterii instantanee specifice a radiației directe.

2. Dintre componentele unei centrale solaroelectrice cu concentrare, heliostatele ridică cele mai delicate probleme de concepție și calitate. În privința suprafeței de reflexie, cercetările au scos în evidență oglinzile de sticlă argintată sau aluminizată ca fiind cel mai convenabil material, dat fiind coeficientul de reflexie ridicat (circa 0,85 pentru sticlă „float" argintată, respectiv 0,82 pentru cea aluminizată), comportarea bună în timp și curățirea ușoară. Oglinzile pot fi concepute fie autoportante, ceea ce implică grosimi de circa 6 mm (de tip sandwich) sau oglinzi subțiri de circa 3 mm, lipite de suporturi de plastic sau beton, pentru asigurarea rigidității mecanice [5]. Experimentările de durată au evidențiat o pierdere a reflexibilității de 3—5% pe an. Aceleași experimentări [7] au stabilit că în exploatare se află în medie între 90—95% din numărul total de heliostate. Defectele se concentrează în proporție de 30% la mecanismele de orientare-acțio-

nare și de 30% la partea electronică a sistemelor de control.

Structurile metalice trebuie să fie rigide, asigurînd menținerea preciziei de orientare în condiții de vînt puternic (pînă la 10 m/s). La viteze ale vîntului de ordinul a 20 m/s (circa 70 km/h), heliostatele se pun în steag cu viteze unghiulare de circa $3{,}5 \cdot 10^{-3}$ rad/s. Rezistența structurilor se calculează pentru viteze instantanee ale vîntului de 50 m/s (180 km/h) [8], [9].

Precizia de orientare joacă un rol important în asigurarea unor niveluri de concentrare mari. Ea depinde de rigiditatea structurii, de jocurile mecanismelor de acționare-orientare, precum și de calitatea sistemului de urmărire a poziției soarelui. Cele mai bune precizii de orientare obținute în instalații experimentale indică erori de $\pm\ 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ rad [7]. Pentru centrala solară franceză THEMIS, erorile admise sînt mai mari, de $\pm 4 \cdot 10^{-3}$ rad [9]. Erorile unghiulare de orientare, la care se adaugă efectul defocalizant al paralaxei solare, determină dimensiunile de intrare ale cavității receptorului termic, funcție de distanța medie între cîmpul de heliostate și turn, care depinde de mărimea suprafeței active și de amplasarea heliostatelor în teren.

Aspectele expuse mai sus determină randamentul mediu de reflexie al cîmpului de heliostate. Pentru centrale solare cu turn, acest randament are valori de referință de ordinul a 80% [5]. Pentru creșterea factorului de concentrare al cîmpului de heliostate și îmbunătățirea randamentului de reflexie se folosesc heliostate focalizante. Acestea sînt realizate prin curbarea individuală a modulelor de oglinzi și prin orientarea convenabilă a acestora, la fiecare heliostat în parte, cu ocazia reglajului de funcționare.

3. Optimizarea „factorului cosinus", evitarea umbririi, precum și limitele tehnologice de precizie în orientarea heliostatelor conduc la anumite configurații optime ale cîmpului de heliostate, precum și la limitarea puterii centralelor solaroelectrice funcție de poziția geografică (latitudinea) amplasamentului.

Astfel, în zonele cu climat temperat și mediteranean, este preferabilă amplasarea cîmpului de heliostate pe sectoare de 120° la nordul turnului (centralele Adrano—Italia de 1 MW_e, THEMIS— Franța de 2 MW_e etc.). La latitudinea zonelor tropicale sau ecuatoriale este favorabilă amplasarea cîmpului de heliostate împrejurul turnului, care devine astfel central (centrala solară de la Barstow, California —S.U.A., de 10 MW_e) [5], [9].

În privința puterilor optime maxime, acestea se estimează în prezent la circa 10 MW_e pentru zonele temperate-mediteraneene și circa 100 MW_e pentru zone tropical-ecuatoriale [3], [8], [9]. Desigur, prin micșorarea „factorului cosinus" mediu, deci prin reducerea eficacității de utilizare a suprafeței active reflectante, respectiv a randamentului geometric, s-ar putea realiza și centrale de puteri unitare mai mari. Aceasta ar mări însă substanțial investițiile specifice, dată fiind ponderea mare (60—70%) a cîmpului de heliostate în investiția totală a unei centrale solare.

Legat de cele de mai sus se precizează că centrala franceză THEMIS, de 2 MW_e, și o centrală japoneză de 1 MW_e, în curs de realizare, sînt prevăzute cu posibilități de extindere la 10 MW_e [8], [9].

Randamentele geometrice de referință pentru centrale solare cu turn sînt de circa 95% [5]. Pentru centralele solare cu captatoare distribuite, cu receptorul termic amplasat în focarul paraboloidului, preciziile necesare pentru orientare și focalizare, precum și cele de realizare fizică a captatoarelor pot fi mult mai mici, datorită distanței reduse (de ordinul metrilor), între suprafața reflectantă activă și receptorul termic. Totodată, „factorul cosinus" este mai mare și are valoare constantă. Aceasta face ca randamentul optic al acestui tip de centrală să fie superior randamentului optic al centralelor cu turn. Se citează valori de referință pentru randamentul optic de 80% față de 76% ($\eta_r \cdot \eta_g = 0{,}8 \cdot 0{,}95$) la centralele cu turn. Din acest motiv, conceptul centralelor solare cu captatoare distribuite se apreciază, în ultimele cercetări și referințe bibliografice [3], că ar putea conduce la instalații modulare competitive cu centralele cu turn.

4. Deoarece puterea optică a unei centrale solaroelectrice depinde de puterea instantanee specifică a radiației solare directe, precum și de randamentul geometric care variază în timp (atît diurn cît și sezonier), puterea electrică nominală a unei centrale solare cu turn se convine a fi definită pentru un anumit moment al anului și la o anumită valoare a insolației. Spre exemplu, pentru centrala japoneză Nio, în curs de realizare, puterea nominală de 1 MW_e se definește în ziua solstițiului de vară, la două ore după trecerea soarelui la meridianul locului, la o intensitate specifică a radiației directe de 0,72 kW/m^2 [8].

5. Radiația directă primită la nivelul cîmpului de heliostate, precum și radiația reflectată care ajunge la nivelul receptorului termic este apreciabil diminuată (prin dispersie) de prezența pîclei și a umidității atmosferice, precum și a poluării atmosferice din zona amplasamentului centralei solare (gaze, pulberi, fum etc.).

Din studiile efectuate în Franța pentru alegerea amplasamentului centralei THEMIS [9], s-a constatat că umiditatea atmosferică, precum și apropierea centrelor industriale sau a autostrăzilor — în general a zonelor cu poluare atmosferică — pot reduce, prin absorbție și

difuzie, fluxul optic care ajunge pe receptor cu circa 20—30% (inclusiv prin depuneri poluante pe suprafețele active ale heliostatelor). Totodată, datorită faptului că în Europa centrală și de nord radiația directă reprezintă în medie numai circa 40—50% din radiația solară globală, aceste zone sînt defavorizate pentru amplasarea de centrale solaroelectrice. De aceea, toate centralele solare realizate, proiectate sau în curs de proiectare sînt amplasate sau se prevăd să fie amplasate în zona mediteraneană, datorită faptului că fluxul radiației directe reprezintă acolo circa 70% din radiația solară globală la durate efective de strălucire a soarelui de circa 2700—2800 ore/an [3].

Tot din considerentele enumerate, în particular al umidității mari, amplasamentele nu se aleg de regulă pe malul mării. Se consideră ca fiind favorabile amplasamentele situate la altitudine, unde intensitățile specifice ale radiației solare sînt mai mari, iar configurația terenului favorizează curenți de aer care împrăștie nebulozitățile. Un amplasament cu pantă lină spre sud contribuie la reducerea distanțelor de umbrire între heliostate.

În condițiile țării noastre, duratele maxime de strălucire efectivă a soarelui (circa 2400—2500 ore/an) se înregistrează în Dobrogea. Avînd în vedere și celelalte condiții enumerate, cele mai favorabile amplasamente ar putea fi situate în județul Tulcea.

2.1.2. *Randamentul cazanului solar*

Puterea optică (relația 1), transmisă de cîmpul de heliostate spre deschiderea de intrare a receptorului termic, nu este în întregime recepționată de agentul termic din cazan, datorită următoarelor pierderi:

a) Pierderi de intrare, urmare a difuziei fluxului reflectat pe distanța heliostate-turn, a deplasării aleatorii a poziției cavității (datorită vîntului) etc. Aceste pierderi sînt caracterizate de randamentul de intrare (η_i) avînd valori de referință de circa 98—99%.

De asemenea, din puterea care intră în cavitate și ajunge la nivelul suprafețelor interioare ale acesteia, o fracțiune este reflectată spre exterior, pe lungimi de undă scurte, corespunzătoare fluxului luminos.

Puterea reținută în cavitate depinde de coeficientul de absorbție aparent al acesteia (α_c), care, cu bună aproximație, este dat de relația:

$$\alpha_c = \frac{\alpha_m \cdot S_i/S_0}{(1 - \alpha_m) + \alpha_m \cdot S_i/S_0}, \qquad (2)$$

unde:

α_m este coeficientul de absorbție al materialului suprafeței interne (în majoritate suprafețe de schimb de căldură);

S_i/S_0 — raportul între suprafața internă a cavității receptoare (S_i) și suprafața deschiderii de intrare (S_0).

Ca valoare de referință, $\alpha_c = 0{,}98$ [5].

Astfel, pierderile de intrare și de reflexie ($p_{i,refl}$) vor fi:

$$p_{i,refl} = P_{op} - P_{op} \cdot \eta_i \cdot \alpha_c \ [\text{kW}] \qquad (3)$$

b) În cavitate, ca urmare a absorbției fluxului direct de energie $P_{op} \cdot \eta_i \cdot \alpha_c$, a redistribuirii energiei între diferitele zone interne (prin flux difuz de emisie-reflexie), concomitent cu cedarea de căldură către agentul termic prin suprafețele de schimb de căldură, se stabilește o temperatură medie (T_{cm}) a suprafețelor interne ale cavității receptoare,

$$T_{cm} = \left[\sum_{i=1}^{n} T_i^4 \cdot F_i\right]^{1/4} \ [°\text{K}], \qquad (4)$$

unde:

T_i este temperatura diferitelor zone interne;

F_i — factorii de formă a zonelor respective.

Cavitatea receptoare radiază spre exterior, prin deschiderea de suprafață S_0, în benzile de roșu și infraroșu, un flux de radiație care se pierde (p_{rad}), comportîndu-se ca un corp negru aflat la T_{cm}.

Stabilirea bilanțului radiativ al cavității receptoare și distribuția suprafețelor de schimb de căldură pentru obținerea unui ecart optim între acestea și agentul termic, reprezintă problema de bază în calculul de detaliu al cazanului solar.

În primă aproximație, pentru calculele de randament global, se consideră $T_{cm} = T_c$ (T_c fiind temperatura de ieșire a agentului de răcire din cazan). Pe baza legii Stefan-Boltzman, fluxul de pierderi prin radiație are expresia:

$$p_{rad} = S_0 \cdot \sigma \cdot \varepsilon_c \cdot T_c^4 \ [\text{kW}], \qquad (5)$$

unde:

S_0 este suprafața deschiderii cavității, m²;

σ = $5{,}67 \cdot 10^{-11}$ kW/m² · grad⁴, constanta Stefan-Boltzman;

ε_c — coeficientul aparent de emisie.

Coeficientul aparent de emisie depinde de geometria cavității și de coeficientul de emisie (ε_m) al materialului suprafeței interne (în majoritate suprafață de schimb de căldură). Cu o bună aproximație, conform [5]:

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_m \cdot S_i/S_0}{(1 - \varepsilon_m) + \varepsilon_m \cdot S_i/S_0} \qquad (6)$$

Ca valoare de referință, $\varepsilon_c = 0{,}95$ [5].

c) Prin convecție naturală și convecție forțată (sau mixtă) în prezența vîntului, cazanul solar pierde, prin suprafața deschiderii de intrare S_0, un flux de energie

$$p_{conv} = S_0 \cdot h_c \cdot (T_c - T_0) \text{ [kW]}, \quad (7)$$

unde :

h_c este coeficientul de transfer prin convecție, kW/m² · °C ;
T_0 — temperatura ambiantă.

Determinarea coeficientului de transfer prin convecție, h_c, atît pentru cazul convecției naturale cît și pentru convecția forțată, la diferite orientări ale vîntului, constituie o problemă dificilă în calculul cazanelor solare.

Ca valoare de referință, pentru regimuri de funcționare normale, la viteze ale vîntului sub 10 m/s, $h_c = 0{,}03$ kW/m² · grad. La viteze mai mari ale vîntului, în limitele de funcționare ale instalației, valoarea coeficientului de transfer prin convecție poate ajunge la valori mari, de circa 0,2 kW/m² · grad [5].

d) Pierderile de conducție prin structurile cazanului pot fi reduse la valori neglijabile printr-o izolație corespunzătoare și prin evitarea punților termice. Fiind apreciate la valori sub 0,5%, aceste pierderi se neglijează în prima aproximație a calculelor de randament.

e) Ținînd seama de pierderile enumerate, puterea transmisă agentului termic în cazanul solar (P_c) rezultă din :

$$P_c = P_{op} - p_{i.refl} - p_{rad} - p_{conv} \text{ [kW]} \quad (8)$$

Din relațiile (1), (3), (5), (7), randamentul cazanului solar (η_c) va fi :

$$\eta_c = \frac{P_c}{P_{op}} = \eta_i \cdot \alpha_c - \frac{p_{rad} + p_{conv}}{P_{op}} \quad (9)$$

sau

$$\eta_c = \eta_i \cdot \eta_{ic} - \frac{\sigma \cdot \varepsilon_c \cdot T_c^4 + h_c (T_c - T_0)}{C \cdot E_i \cdot \eta_r \cdot \eta_g}, \quad (10)$$

unde :

$C = \frac{S_a}{S_0}$ — gradul mediu de concentrare a radiației solare.

2.1.3. *Randamentul global*

Randamentul global al centralei solaroelectrice rezultă aplicînd relația :

$$\eta_{gl} = \frac{P_{op}}{S_a E_i} \cdot \frac{P_c}{P_{op}} \cdot \frac{P_{el}}{P_c} \quad (11)$$

unde $S_a \cdot E_i$ este puterea incidentă recepționată de suprafața activă (S_a) la fluxul specific, instantaneu al radiației incidente (E_i).

Randamentul electric, definit prin relația :

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{P_c} = k \eta_k \quad (12)$$

este proporțional cu randamentul Carnot al ciclului termodinamic utilizat, $\eta_k = (T_{in} - T_0)/T_{in}$. În cazul în care agentul termic din cazanul solar intră direct în ciclul termodinamic, $T_{in} = T_c$. Dacă între cazanul solar și ciclul termodinamic se intercalează un sistem de acumulare a căldurii, schimburile de căldură care au loc în interiorul acestui sistem introduc o serie de ireversibilități care conduc la scăderea temperaturii de intrare în ciclu, astfel încît $T_{in} < T_c$. Coeficientul k din relația (12) ține seama atît de ireversibilitățile menționate cît și de calitatea ciclului utilizat (gradul de carnotizare al ciclului real, randamentul intern al turbinei, pierderile mecanice ale grupului turbogenerator, pierderile generatorului electric etc.).

Astfel, din (1), (11), (12), randamentul global al centralei solaroelectrice va avea expresia :

$$\eta_{gl} = \eta_{op} \cdot \eta_{ic} \cdot \eta_{el} \quad (13)$$

sau

$$\eta_{gl} = \eta_r \cdot \eta_g \cdot \left[\eta_i \cdot \alpha_c - \frac{\sigma \cdot \varepsilon_c \cdot T_c^4 + h_c (T_c - T_0)}{C \cdot E_i \cdot \eta_r \cdot \eta_g} \right] \cdot k \cdot \frac{T_c - T_0}{T_c} \quad (14)$$

Analiza expresiei randamentului global pune în evidență următoarele aspecte de fond :

a) Randamentul global este variabil în timp datorită variației diurne și sezoniere a radiației incidente (E_i), a randamentului geometric (η_g) și a randamentului de reflexie (η_r) (prin murdărirea oglinzilor și acțiunea vîntului). De asemenea h_c variază funcție de viteza vîntului.

b) Importanța deosebită pe care o are obținerea unui randament optic $\eta_{op} = \eta_r \cdot \eta_g$ ridicat, care afectează randamentul global atît direct cît și indirect prin diminuarea ponderii relative a pierderilor prin radiație și convecție (termenul cu semn minus din paranteză).

c) Randamentul cazanului scade odată cu creșterea temperaturii datorită măririi rapide a pierderilor prin radiație și convecție. Totodată, randamentul ciclului termodinamic se mărește cu creșterea temperaturii. Aceste influențe contrare sînt ilustrate de curbele din figura 4, în care se prezintă variația produsului $\eta_c \cdot \eta_{el}$ funcție de temperatură și gradul mediu de concentrare, pentru cazul concret al centralei franceze THEMIS [5].

Se constată că pentru a obține un randament maxim, creșterea temperaturii ciclului trebuie însoțită de creșterea gradului de concentrare, curbele din figura 4 scoțînd în evidență tem-

peratura optimă pentru un grad de concentrare dat.

d) Deoarece suprafaţa deschiderii cavităţii receptoare (S_a) este limitată de precizia de orientare a heliostatelor (circa 2 — 4 mili-

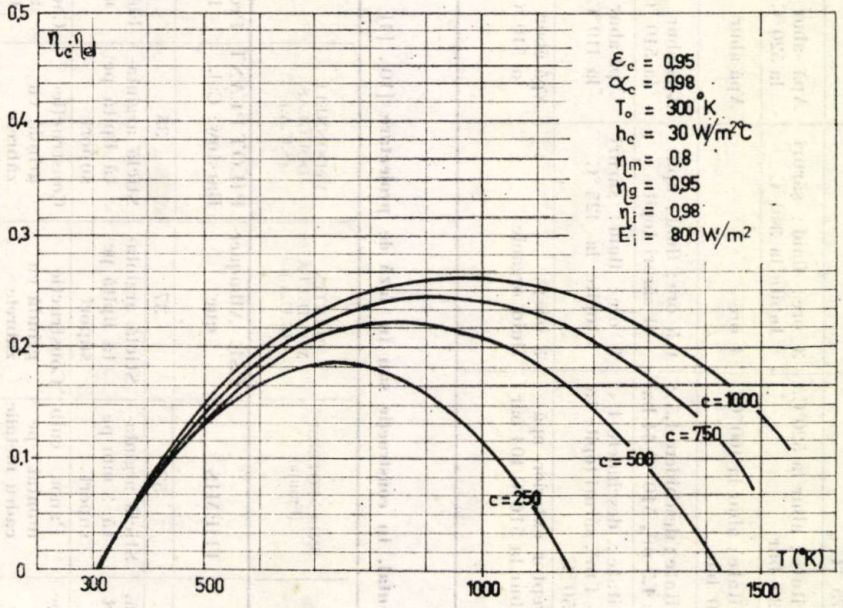


Fig. 4. Variaţia $\eta_c \cdot \eta_{el}$ funcţie de temperatură şi gradul mediu de concentrare [5].

radiani), de dimensiunea modulului de oglindă al heliostatelor, creşterea gradului de concentrare se poate asigura practic numai prin mărirea suprafeţei active (S_a) a cîmpului de heliostate, deci prin mărirea puterii centralei solare. Altfel spus, mărirea eficienţei energetice impune mărirea puterii centralei solare în conformitate cu optimul dat de relaţia (13).

Cele prezentate în cadrul acestui capitol privitor la randamentele componentelor şi randamentul global al unei centrale solaroelectrice

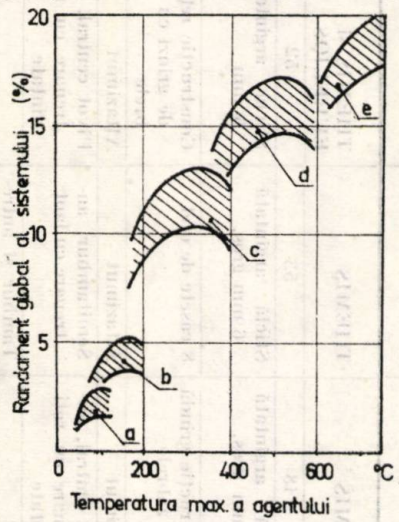


Fig. 5. Randamentul global al diferitelor sisteme de conversie termodinamică a energiei solare, funcţie de temperatură şi gradul mediu de concentrare [6].

a — CSE de joasă temperatură cu captatoare plane, $C = 1$ (agent de lucru: fluid volatil);
b — CSE de joasă temperatură cu captatoare plane, cu concentrare locală pe ţevi, $C = 3-10$ (agent de lucru: fluid volatil);
c — CSE de medie temperatură, $C = 30-50$ (agent de lucru: apă-abur);
d — CSE de înaltă temperatură $C = 500-1000$ (agent de lucru: apă-abur);
e — CSE de înaltă temperatură, $C = 500-1000$
— heliostate şi turn cu ciclu de gaze Brayton;
— captatoare parabolice cu motoare termice Stirling sau Brayton, amplasate în focar.

sînt sugestiv ilustrate în figura 5. Pentru diferite sisteme (concepte) de conversie termodinamică, în figura 5 se precizează domeniile posibile de variaţie a randamentului global, funcţie de temperatura maximă a agentului de lucru şi de gradul mediu de concentrare (C).

Este interesant de menţionat poziţia favorabilă pe care o ocupă centralele solare cu captatoare parabolice distribuite (zona „e" din fig. 5), cu motoare termice tip Stirling sau Brayton, la temperaturi între 700—800°C şi grade medii de concentrare $C = 500-1000$.

2.2. *Centrale solaroelectrice experimentale, în curs de realizare sau proiectare*

Centralele solaroelectrice pilot experimental, în curs de realizare sau proiectare în diferite ţări ale lumii, au ca scop testarea de durată în condiţii reale de exploatare a principalelor echipamente componente specifice (heliostate, cazan solar, sisteme de acumulare, ciclu termodinamic de conversie etc.), verificarea performanţelor energetice posibil de obţinut în condiţiile climatice şi de amplasament date, precum şi regimurile optime de exploatare. Aceste centrale solare pilot trebuie să permită testarea la scară naturală a heliostatelor şi sistemelor de orientare şi totodată să reprezinte modele, la scară convenabilă din punct de vedere al condiţiilor de similitudine, pentru cazanele solare şi sistemele de acumulare ale viitoarelor centrale de puteri industriale.

Tabelul 1

Centrale solaroelectrice pilot experimental în construcţie [10], [4], [11]

Denumirea centralei Amplasament	Puterea (kW$_e$) Data intrării în funcţiune	Organismul responsabil cu realizarea proiectului	Sistemul optic	Receptorul solar	Sistemul de acumulare	Ciclul termodinamic
SSPS–A Almeria (Spania)	500 (1981)	International Energy Agency	150 heliostate de 40 m^2 S_{tot} = 6000 m^2	Semicavitate, deschidere 3×3 m^2, sodiu la 575 °C	4 ore cu sodiu lichid la 475 °C	Apă-abur supraîncălzit la 500 °C/100 bar
CESA–1 Almeria (Spania	1000 (1983)	Centro de Etudios de la Energia	250 heliostate de 36 m^2 S_{tot} = 9900 m^2	Cavitate; abur la 520°C/ 130 bar	3 ore; fluid: săruri topite la 340 °C	Apă -abur supraîncălzit la 520 °C/100 bar
Mitsubishi Shikoku (Japonia)	1000	Mitsubishi Ltd.,	850 heliostate de 16 m^2 S_{tot} = 13600 m^2	Cavitate; abur la 400 °C/ 40 bar	4 ore	Apă-abur
EURELIOS Adrano-Sicilia (Italia)	1000 (1980)	Comunitatea Europeană	S_{tot} = 6860 m^2	Cavitate; deschidere 4,5× ×4,5 m^2, 510 °C/64 bar	0,5 ore; fluid: apă şi săruri topite	Apă-abur supraîncălzit la 510 °C/64 bar
THEMIS Targasonne (Franţa)	2000 nom. 3000 vîrf. (1981)	CNRS-EdF	350 heliostate de 50 m^2 S_{tot} = 17500 m^2	Cavitate; deschidere 4× ×4 m^2, săruri topite la 450 °C	6 ore; fluid: săruri topite la 425 °C	Apă-abur supraîncălzit la 410 °C/50 bar
PILOT PLANT Barstow, Cal., (S.U.A.)	10000 (1981)	Department of Energy, McDonnell-Douglas	1760 heliostate de 38 m^2 S_{tot} = 66880 m^2	Receptor exterior, apă-abur la 516 °C/104 bar	3 ore; fluid organic	Apă-abur supraîncălzit la 510 °C/100 bar

Tabelul 2

Caracteristicile tehnice ale heliostatelor unor centrale solaroelectrice pilot experimental, în construcţie sau în fază de proiectare [10], [4]

Firma constructoare / Caracteristica	CETHEL-I (Franţa)	CETHEL-II (Franţa)	CETHEL-III (Franţa)	ARBEL-COMSIP (Franţa)	SNIAS-SOTERM (Franţa)	MARTIN MARIETTA (S.U.A.)	McDONNELL DOUGLAS (S.U.A.)	BOEING (S.U.A.)
Destinaţia heliostatului — denumirea CSE	THEMIS	THEMIS	THEMIS şi EURELIOS	THEMIS	THEMIS	CSE Albuquerque	PILOT PLANT Barstow, Cal.	Project EPRI
Suprafaţa [m^2]	48	53	52	54	52	37	38	68
Material oglindă pentru heliostate	Sticlă argintată 6 mm gros.	Sticlă argintată 6 mm gros.	Sticlă argintată 6 mm	Sticlă argintată, 3 mm pe suport	Sticlă argintată, 3 mm pe suport	Sticlă argintată lipită pe suport	Sticlă argintată lipită pe suport	Folie de plastic metalizată
Panou suport pentru heliostate (oglinzi)	Construcţie grindă cu zăbrele	8 casete de oţel	Construcţie reţea de grinzi cu zăbrele	Casete montate pe cadru metalic	Panou cuib montat pe cadru metalic	Construcţie grindă cu zăbrele	Construcţie grindă cu zăbrele	Cadru metalic uşor, circular
Orientare în spaţiu	Altazimut	Altazimut	Altazimut	Altazimut	Altazimut	Altazimut	Altazimut	Altazimut
Orientare în plan	Pivot central, antrenare cu roţi dinţate	Semitambur, antrenare cu lanţ	Pivot central, antrenare cu roţi dinţate	Role de antrenare	Antrenare cu sistem bielă	Antrenare cu roţi dinţate	Pivot central, acţionare vinci-bielă	Pivot central
Orientare în azimut	Idem	Tambur şi antrenare cu lanţ	Idem	Demultiplicare prin braţ de cuplu	Demultiplicare prin braţ de cuplu	Pivot central, antrenare cu roţi dinţate	Pivot central, antrenare cu roţi dinţate	Idem
Sistem de comandă-control	Buclă deschisă	Buclă deschisă	Buclă deschisă	Buclă închisă	Buclă închisă	Buclă deschisă	Buclă închisă	Buclă deschisă

Din motivele enumerate, puterea centralelor pilot experimental realizate este de minimum 500 kW_e, următoarea gamă de puteri fiind de 1—10 MW_e.

În principalele țări industrializate, cum sînt S.U.A., Franța, R. F. Germania, Italia, Spania, Japonia, se manifestă un interes deosebit pentru dezvoltarea tehnologică în domeniul centralelor solaroelectrice. Interesele diferă de la țară la țară, preconizîndu-se atît exportul de tehnologii, cît și valorificarea resurselor solare interne.

În tabelul 1 se prezintă principalele instalații pilot experimental aflate în construcție [10], [4], [11]. Din tabel rezultă, pentru cîmpul de oglinzi, valori de 6,7—12 m^2/kW_e. Această dispersie se datorește mai multor factori: definirea puterii nominale, care diferă de la o instalație la alta, diferențe de randamente globale, diferențe de însoleiere a amplasamentelor etc.

În Europa Occidentală și Japonia, instalațiile pilot experimental aflate în curs de realizare sau proiectare au puteri cuprinse între 0,5 și 2,0 MW_e. De asemenea, se află în studiu instalații cu puteri între 10 și 20 MW_e. În S.U.A. Departamentul pentru Energie vizează punerea la punct, în jurul anului 1985, a unor unități de puteri unitare mari, de circa 100 MW_e în zonele sudice ale țării. Prima etapă a acestui program constă în realizarea unei unități („Pilot-Plant") de 10 MW_e amplasată la Barstow, California, cu punere în funcțiune probabilă în anul 1981.

În U.R.S.S., studiile efectuate vizează realizarea, în perioada 1981—1985, a unei centrale experimentale de 3—5 MW_e. Pînă în anul 1990 se preconizează realizarea unei centrale solare de putere mare, circa 300 MW_e, formată din patru module cu puteri unitare de 75 MW_e. Unul dintre amplasamentele studiate este la Kerci, în Crimeea.

În țara noastră, care manifestă interes deosebit pentru dezvoltarea și valorificarea surselor noi de energie, sînt prevăzute cercetări pentru realizarea, pînă în anul 1985, a unei centrale solare electrice pilot experimental de 1 MW_t, care va fi extinsă, în perioada 1986—1987, la puterea de 1 MW_e. După cum s-a menționat anterior, amplasamentele cele mai favorabile se situează în Dobrogea. La realizarea acestui program urmează să colaboreze un număr mare de institute de cercetare și proiectare, pe baza contractelor finanțate de Consiliul Național pentru Știință și Tehnologie.

În tabelul 2 se prezintă principalele caracteristici tehnice ale heliostatelor folosite la unele dintre centralele solare pilot aflate în construcție [10], [4]. Se constată tendința de realizare a unor heliostate de suprafață activă mare, peste 37 m^2, ceea ce reduce costurile de investiție prin reducerea numărului sistemelor de antrenare și de comandă-control. Pentru comanda și controlul automat al heliostatelor se folosesc două tehnologii diferite:

— buclă închisă, care utilizează un dispozitiv tip lunetă pentru vizarea receptorului termic;

Tabelul 3

Principalele caracteristici și parametri pentru receptoarele termice ale unor centrale solaroelectrice pilot experimental

Caracteristici \ Denumirea proiectului	INTI-800	THEMIS	SSPS-A	PILOT PLANT	EPRI	EPRI
Fluidul (agentul) termic	Gilotherm	Amestec eutectic de săruri	Sodiu	Apă-abur supraîncălzit	Heliu	Aer
Presiunea [bar]	1	1	1	100	34,5	9,3
Temperatura de intrare [°C]	210	335	420	250	538	432
Temperatura de ieșire [°C]	335	450	570	516	816	1038
Tipul receptorului termic	Cavitate	Cavitate	Semicavitate	Cilindru exterior	Cavitate cilindrică	4 cavități de secțiune octogonală
Puterea termică la receptor [kW_t]	4800	9600	4680	44000	2× 325000	4× 187000
Fluxul specific la receptor [kW/m^2]	200	300—500	520	300	1150	2000
Dimensiunile receptorului termic	7,5× 5 m^2 profunzime 2,5 m	$\emptyset_{ext}$ = 6500 $\emptyset_{int}$ = 4000	3× 3 m^2	$\emptyset$ = 7000	$\emptyset$ = 39000	5,6× 5,6 m^2 profunzime 12,5 m

— buclă deschisă, la care fiecare ax de rotație este prevăzut cu traductoare de poziție reală instantanee; această poziție este comparată cu poziția calculată de către un calculator, pentru care datele de intrare corespund coordonatelor astronomice ale soarelui, cele geografice ale receptorului termic și ale fiecărui heliostat în parte.

În tabelul 3 sînt precizate principalele caracteristici și parametri pentru receptoarele termice ale unor centrale solaroelectrice aflate în construcție sau în fază de proiectare [10], [4].

2.3. *Tendințe în alegerea soluțiilor de schemă pentru centrale solaroelectrice*

Dezvoltarea tehnologiilor și trecerea la realizarea centralelor solaroelectrice industriale este în bună măsură o problemă de competitivitate economică cu soluțiile clasice de producere a energiei electrice.

După realizarea proiectelor pentru centralele pilot experimental citate în tabelul 1, cercetările continuă pe linia perfecționării componentelor și a stabilirii soluțiilor optime de scheme, care să conducă la reducerea investițiilor specifice și a costului energiei produse. În legătură cu aceasta se conturează următoarele tendințe principale:

a) Mărirea puterii instalate peste palierul de 2—3 MW_e, în limitele permise de latitudinea amplasamentului, pentru reducerea investiției specifice și reducerea costului energiei produse, prin mărirea productivității specifice.

b) Reducerea la minimum a instalațiilor de stocare a căldurii. Această tendință conduce la reducerea simțitoare a investițiilor specifice, însă impune funcționarea centralei în strictă dependență de insolație (regim de funcționare în „iluminare directă"). Pentru a evita variațiile bruște de putere, urmare a variațiilor intensității radiației incidente, se preconizează scheme prevăzute cu aport de combustibil clasic sau scheme hibride, combinate cu instalații termoenergetice clasice.

c) Alegerea amplasamentelor în zone cu regim favorabil de însoleiere, ceea ce conduce atît la îmbunătățirea randamentului global, cît și la mărirea duratei de utilizare anuală. Aceasta din urmă are o influență deosebită asupra reducerii costului energiei produse.

d) Alegerea celor mai avantajoase cicluri termodinamice de conversie.

În tabelul 4 se prezintă datele tehnice comparative, calculate pentru șapte variante diferite reprezentative de centrale solaroelectrice cu ciclu termodinamic [11]. Pentru toate variantele s-au adoptat următoarele elemente comune:

— puterea electrică 10 MW_e, pentru o intensitate specifică a radiației de 0,8 kW/m² în ziua echinoxului, la ora 12;

— funcționare în regim de iluminare directă, cu acumulare redusă la minimum;

— durată efectivă de strălucire a soarelui 2800 ore/an;

— răcire cu apă la condensatoare sau recuperatoare.

Variantele 1—4 cu ciclu termodinamic pe vapori se dovedesc a avea randamentele cele mai mari, fiind totodată și cele mai sigure în exploatare.

Ciclurile închise cu gaze ar putea asigura randamente superioare celor cu vapori în cazul utilizării unor temperaturi de intrare de circa 1000—1100°C. Aceasta ar implica temperaturi ale suprafețelor de schimb din cazan de circa 1100—1200°C, care nu pot fi asigurate decît cu materiale ceramice a căror tehnologie nu este încă pusă la punct și în nici un caz nu poate fi avută în vedere în prezent pentru exploatare de durată. Ciclurile deschise cu aer, variantele 6—7, la temperaturi compatibile cu materiale existente în prezent, nu pot asigura randamente competitive cu ciclurile pe vapori, nici în cazul recuperării căldurii evacuate.

Variantele 3 și 7 — cu cazan funcționînd cu sodiu lichid — nu aduc avantaje de randament, necesită instalații de încălzire a sodiului pentru vehiculare și măsuri speciale de protecție. De aceea folosirea sodiului nu apare ca fiind avantajoasă în cazanele solare.

Varianta 4 reprezintă o schemă combinată, care utilizează captatoare tip heliostat și captatoare parabolice distribuite. Aceste variante prezintă pierderi mari în rețeaua de colectare a agentului termic obținut din captatoarele distribuite.

Varianta 5, cu captatoare distribuite, ar putea deveni competitivă, după cum s-a arătat în capitolele precedente, pentru temperaturi și grade de concentrare mari (750°C, $C = 500—1000$), cu motoare termice de tip Stirling, amplasate în focar.

În sfîrșit, prima variantă reprezintă de fapt actualul proiect al centralei solaroelectrice franceze THEMIS, extrapolat la puterea de 10 MW_e.

Analiza variantelor prezentate în tabelul 5 formează o imagine de ansamblu asupra eficienței energetice a diferitelor scheme de centrale solaroelectrice cu ciclu termodinamic și sugerează opțiuni pentru programele de cercetare-dezvoltare tehnologică în acest domeniu.

★

În încheiere vom evidenția cîteva concluzii cu caracter general.

Astfel, din cercetările efectuate pe plan mondial în domeniul conversiei termodinamice, nu rezultă încă soluții simple și preferabile sub toate aspectele, în vederea realizării ansamblului unei centrale solaroelectrice.

În majoritatea țărilor cu programe de cercetare în acest domeniu, eforturile se desfă-

Tabelul 4

Date tehnice comparative pentru diferite variante de centrale solaroelectrice cu ciclu termodinamic [11]

Componente \ Varianta	1	2	3	4	5	6	7
A. *Cîmpul de oglinzi*							
1. Putere nominală captată de cazan [MWt]	27,88	26,87	26,87	27,75	33,25	25,51	28,86
2. Suprafață activă [$\times 10^4$. m^2]	4,49	4,31	4,57	4,72	5,25	4,67	5,27
3. Suprafață totală ocupată [$\times 10^4$. m^2]	16,8	15,2	14,8	14,9	19,8	13,3	18,1
B. *Cazanul solar*							
4. Tipul cazanului	Cavitate	Cavitate	Plan	Cavitate + captatoare distribuite	Captatoare distribuite	Cavitate	Cavitate
5. Agent termic în cazan	„hitec"*	Apă-vapori (ciclu direct)	Sodiu	„hitec" + apă-vapori	Apă-vapori (ciclu direct)	Aer ciclu direct	Sodiu
6. Temperatura de intrare [°C]	293	252	286	290	264	312	350
7. Temperatura de ieșire [°C]	450	510	535	450	264	800	700
8. Aport combustibil clasic	fără	fără	fără	fără	fără	Cameră combustie	Cameră combustie
C. *Ciclul termodinamic*							
9. Agent termodinamic	Vapori	Vapori	Vapori	Vapori	Vapori	Aer	Aer
10. Temperatura de intrare [°C]	440	510	510	440	254	950	925
11. Presiunea de intrare [bar]	80	80	80	80	50	9,3	7,5
12. Alte caracteristici	Încălzire intermed.	Turbină radială	Turbină radială	Încălzire intermed.	Încălzire intermed.	Cu recuperator	Cu recuperator
D. *Eficiență*							
13. Producție anuală de energie electrică [$\times$ 1000 MWh]	13,84	14,0	13,8	14,0	14,14	11,16	13,36
14. Randament mediu anual [%]	18,9	19,9	18,5	18,2	14,8	14,6	15,5

* „hitec" — amestec eutectic de săruri topite (KNO_3 — 53%; $NaNO_2$ — 40%; $NaNO_3$ — 7%)

șoară pe mai multe direcții, respectiv pentru realizarea și experimentarea unor instalații pilot bazate pe diferite concepte. Puterea minimă a stațiilor pilot, în scopul efectuării unor experimentări concludente, în vederea extrapolării la instalații industriale, este de 500 kW_e (circa 2200 kW_t).

Obiectivele comune tuturor programelor de cercetare-dezvoltare în domeniu vizează rezolvarea următoarelor probleme majore:

— construirea principalelor elemente și subansambluri componente specifice centralelor solaroelectrice cu ciclu termodinamic de înaltă temperatură (captatoare cu concentrare, sisteme de comandă-control, receptoare termice, sisteme de stocaj al căldurii etc.);

— demonstrarea realizării practice a conversiei termodinamice și experimentarea la scară naturală a centralelor solaroelectrice (funcționarea cîmpului de heliostate, a sistemelor de acumulare, experimentarea regimurilor optime de funcționare a centralelor solaroelectrice — funcționare în regim de iluminare directă, funcționare pe acumulare, funcționare izolată, funcționare conectată la sistem, soluții hibride etc.);

— furnizarea datelor de bază concrete pentru evaluarea investițiilor și costului energiei electrice produse;

— atingerea competitivității industriale și tehnologice în domeniu.

Desfășurarea cercetărilor pe diferite direcții, conform conceptelor prezentate, contrastează cu necesitatea stabilirii unor tehnologii preferate, adecvate producției de mare serie a componentelor — singura cale posibilă deocamdată de reducere substanțială a cheltuielilor de investiții. Un echilibru rezonabil între aceste tendințe opuse va surveni, probabil, în perioada 1984—1985, cînd se va dispune de date certe de exploatare pentru actualele stații pilot aflate acum în curs de realizare.

Bibliografie

[1] Clémot, M. G. și Pheline, J. *Energie solaire et production décentralisée d'électricité.* În: Revue de l'Energie, 30, nr. 313, 1979, p. 179—184.

[2] Weingart, J. M. *L'énergie solaire base d'un système énergétique.* În: Revue de l'Energie, 30, nr. 313, 1979, p. 293—302.

[3] Jäger, F. *A Comparative Economic Assessment of Decentralized and Centralized Solar Energy Conversion Technologies in the EEC Region.* Raport la „Seminar on Technologies Related to New Energy Sources", Jülich, R.F.G., 8—12 dec. 1980.
[4] Bignon, M. *Les centrales solaires à tour.* În: Revue de l'Energie, 30, nr. 313, 1979, p. 209—217.
[5] Etievant, C. *Les centrales solaires de puissance.* Curs prezentat la Seminarul AIEA, Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires, Paris, mai-iunie1980.
[6] Feustel, J. E. *Performance and Cost Optimisation of Small Solar Power Stations.* Congress of the International Solar Energy Society (ISES), Atlanta, Georgia, S.U.A. 1979.
[7] Marshall, B. W. *The USA Central Receiver Test Facility Capabilities and Operational Experiences.* International Symposium on Solar Thermal Power and Energy Systems, Marsilia (Franța), iunie 1980.
[8] Toyoguchi, Y. *Solar Thermal Power Generation Pilot Plant at Nio, Japan.* International Symposium on Solar Thermal Power and Energy Systems, Marsilia, iunie 1980.
[9] Claverie, M. și Etievant, C. *Les aspects économiques des centrales solaires à tour.* În: Revue de l'Energie, 30, nr. 313, 1979, p. 200—208.
[10] Etievant, C. și Pharabod, F. *Les centrales solaires de puissance.* În: Revue de l'Energie, 30, nr. 313, 1979, p. 195—200.
[11] Toth, G., Causse, J. P. și Claverie, M. *Solar Energy Production: French Thermodynamic Power Station.* World Energy Conference Proceedings, 1A, p. 665—683, Munich, 1980.

Contribuții la optimizarea dimensionării rețelelor de termoficare*)

Ing. **N. Nieulescu**
Ing. **N. David**
Ing. **C. Coreodel**
Ing. **M. Iordache**
—ISPE—

Condițiile actuale de procurare a energiei primare în țara noastră impun o privire atentă asupra felului cum instalațiile de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei termice și electrice corespund funcției-obiectiv ce trebuie să caracterizeze aceste patru procese : cheltuieli totale actualizate minime.

Aplicată în domeniul dimensionării rețelelor de termoficare, această funcție-obiectiv pune în evidență aspectul cunoscut al contradicției dintre mărimea investiției făcute și cea a cheltuielilor anuale de exploatare.

Întrucît problematica optimizării rețelelor existente de transport și distribuție a căldurii nu poate fi abordată sub aspectul dimensionării, ci doar sub acela al unor măsuri care să permită conducerea și exploatarea în condiții optime a acestora, în lucrarea de față se vor analiza numai rețelele de termoficare aflate în curs de proiectare. De asemenea, avînd în vedere faptul că dimensionarea rețelelor de termoficare care transportă abur are la bază criteriul investiției minime și restricțiile de natură tehnică (parametrii la sursă și la locul de consum), în cele ce urmează se vor analiza numai rețelele de apă fierbinte (150/70°C).

În continuare se prezintă actualul mod de dimensionare utilizat în proiectare, urmat de prezentarea noului algoritm, pe care îl propun autorii, în scopul determinării diametrelor optime ale conductelor ce alcătuiesc o rețea de termoficare.

*) Comunicare prezentată la a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor, cu tema „Probleme actuale privind economisirea combustibililor și energiei în instalațiile industriale", Brașov, 4—6 dec. 1980.

1. Modul actual de dimensionare a rețelelor de termoficare

În prezent dimensionarea conductelor rețelelor de termoficare cu agent termic apă fierbinte are la bază indicațiile și recomandările precizate în „Instrucțiunile pentru calculul mecanic și hidraulic al conductelor de abur și apă fierbinte pentru rețelele de termoficare", aprobate cu Ordinul M.E.E. nr. 1055/1968.

Sintetizînd, modul de dimensionare impus prin acest document constă în următoarele :

— funcție de debitele necesare la nivelul punctelor termice se stabilește circulația în sistemul respectiv, ținînd seama și de simultaneizarea debitelor aferente apei calde menajere ;

— plecînd de la debitele pe tronsoane astfel precizate, se procedează la alegerea diametrelor conductelor pentru fiecare tronson în parte, urmărindu-se realizarea unor pierderi specifice de presiune maxime de 3—5 mm c.a./m pentru magistrale, 7—15 mm c.a./m pe ramificații și de maximum 25 mm c.a./m pe racorduri ;

— ca urmare a alegerii diametrelor conductelor, se stabilesc caracteristicile regimului hidraulic obținut prin dimensionare „preliminară", rezultînd astfel elemente de natură tehnică capabile să precizeze posibilitățile de racordare directă sau indirectă a fiecărui punct termic din rețea. Apărînd modificări față de propunerile inițiale cu privire la schemele de racordare, se corectează debitele de agent termic, circulația și caracteristicile regimului hidraulic.

Analiza rezultatelor obținute ca urmare a parcurgerii etapelor prezentate conduce la identificarea „traseului greu", respectiv a punctului termic care închide graficul piezometric, punct termic pînă la care există cele mai mari pierderi de presiune din rețea.

Disponibilul de presiune la CET, necesar pentru acoperirea cerințelor traseului greu, constituie înălțimea de pompare solicitată de

rețea, element tehnic ce stă la baza alegerii pompelor din CET.

Determinîndu-se disponibilul de presiune în toate nodurile traseului greu, în continuare se procedează la echilibrarea hidraulică a rețelei prin dimensionare, căutîndu-se ca, pe baza reducerii diametrelor stabilite anterior pentru ramificație și racord, să se realizeze încadrarea în disponibilul existent pe traseul greu.

Ca urmare a definitivării dimensionării rețelei, se obțin apoi elementele tehnice și economice ce caracterizează soluția de dimensionare.

Metodologia de calcul prezentată poate fi îmbunătățită ținînd seama de următoarele aspecte :

— prin modul de calcul nu se pune în comparație efortul de investiții și energie necesară pentru transportul agentului termic prin rețea ;

— volumul ancombrant de calcul nu permite considerarea unor variante de dimensionare preliminară în cadrul aceleiași configurații pe teritoriu ;

— etapa de echilibrare prin dimensionare a ramificațiilor și racordurilor ce nu fac parte din traseul greu nu are pusă la punct o procedură de lucru simplă și clară și care să conducă la minimizarea investiției necesare realizării acestor tronsoane.

Toate elementele de mai sus conduc la concluzia că în practica proiectării sistemelor de termoficare se utilizează o metodologie de calcul care are în vedere realizarea unor soluții eficiente din punct de vedere general, fără a fi posibil ca, de la caz la caz, să se adopte soluțiile optime corespunzătoare cerințelor particulare ale cazului respectiv.

2. Algoritm pentru dimensionarea optimă tehnico-economic a rețelelor de termoficare

Aspectele subliniate prin analiza anterioară, precum și majorarea costurilor conductelor folosite în realizarea rețelelor de termoficare impun revizuirea modului de proiectare existent, prin determinarea unei metodologii capabile să examineze tehnico-economic comparativ, în mod complet, toate variantele de dimensionare posibil a fi adoptate.

În acest scop, lucrarea de față își propune atît elaborarea unei metodologii corespunzătoare cerințelor enunțate, cît și punerea în actualitate a valorilor tehnico-economice afectate de actuala conjunctură de prețuri.

Metodologia de calcul care se propune spre introducere în proiectarea sistemelor de termoficare cu apă fierbinte cuprinde două etape distincte :

— stabilirea soluției de dimensionare optimă a traseului greu ;

— determinarea soluțiilor de încadrare a celorlalte ramificații și racorduri în disponibilul traseului greu, astfel încît să se asigure un efort minim de investiții.

În cadrul primei etape, după calculul debitelor necesare la nivelul punctelor termice și stabilirea circulațiilor de agent pentru aceeași configurație de rețea, se pune problema determinării pierderilor optime de presiune în sistem și implicit de alegere a celei mai eficiente variante de traseu greu a rețelei ce se dimensionează.

Considerînd că toate tronsoanele rețelei fac parte din traseul greu, alegerea unui diametru de conductă din gama de diametre utilizate curent este dictată de efectul economic cel mai favorabil.

Drept criteriu al eficienței economice se consideră „cheltuielile totale actualizate minime", exprimate sub următoarea formă :

$$\Delta CTA = (1 - a)(\Delta I_T - \Delta I_p) - \\ - \sum_{i=1}^{d} (1 + a)^{-i} \cdot \Delta C_p - \frac{D_T - d}{D_T} \cdot \qquad (1)$$

$$\cdot (1 - a)^{-d} \cdot \Delta I_T + \frac{D_p - d}{D_p} \cdot$$

$$\cdot (1 - a)^{-d} \Delta I_p \text{ [lei/m]},$$

în care

a = 0,08 ;

ΔI_T — plusul de investiție pentru adoptarea unui diametru majorat (lei/m) ;

ΔI_p — plusul de investiție pentru pompare, rezultat al micșorării diametrului conductei (lei/m) ;

d — durata de viață luată în calcul pentru efectuarea calculelor comparative (ani) ;

i — anul curent ;

ΔC_p — cheltuielile anuale cu energia electrică și combustibilul, aferente variantei cu un diametru de conductă mai mic (lei/an.m) ;

D_T — durata de viață a conductelor (ani) ;

D_p — durata de viață a instalațiilor de pompare din sursă (ani).

Explicitînd relația (1) și făcînd precizarea că diferența de cheltuieli totale actualizate (ΔCTA) trebuie să aibă o valoare egală cu zero pentru debitul maxim economic pe tronsonul cu diametrul mai mic (sau debitul minim economic pe același tronson, dar cu un diametru mai mare) rezultă expresia de calcul a valorii acestui debit :

$$G_T = 0{,}0663 \sqrt{\frac{\Delta I_T}{G_{CET} \cdot Y_i}} \text{ [t/h]}, \qquad (2)$$

unde

G_T este debitul minim (maxim) economic de agent termic pe tronsonul cu diametrul mai mare (mai mic) (t/h) ;

G_{CET} — debitul de agent termic furnizat de sursa de căldură (t/h) ;

Y_i — coeficient care ține seama de pierderile specifice de presiune aferente celor două variante de dimensionare ale unui tronson (respectiv pentru cele două valori de diametre).

Se face precizarea că în relația (2) coeficientul 0,0663 sintetizează o serie de ipoteze de calcul privind investițiile specifice în pompe, în centrala electrică de echivalare, durata anuală de funcționare a pompelor de circulație, consumul specific de combustibil, prețurile de procurare a combustibilului și de cost al energiei electrice etc.

Aplicînd relația (2) la condițiile concrete ale unui sistem de termoficare, se întocmește un tabel cu debitele minime și maxime de apă fierbinte aferente fiecărui diametru de conductă din gama utilizată curent, iar cu acest tabel se trece la dimensionarea tuturor tronsoanelor rețelei pe baza circulațiilor de agent stabilite anterior.

În urma determinării diametrelor tuturor tronsoanelor, se stabilesc pierderile de presiune cumulate pînă la fiecare punct termic, obținîndu-se astfel punctul termic de capăt, traseul greu optim economic, precum și disponibilul de presiune în fiecare nod al traseului greu.

Pentru dimensionarea celorlalte ramificații și racorduri — operație reprezentînd a doua etapă de calcul — se adoptă diametrele minime posibil tehnic (pentru o viteză maximă a agentului termic de 3,5 m/s), verificîndu-se apoi modul de încadrare în disponibilul traseului greu. În situația în care disponibilul de presiune al traseului greu este mai mare decît pierderile de presiune existente pe racordurile sau ramificațiile respective, rezultă că dimensionarea efectuată este corespunzătoare.

În cazul în care o ramificație sau un racord, prin alegerea diametrelor minime, nu se încadrează în disponibilul de presiune, este necesar să se corecteze soluția respectivă prin lărgirea diametrelor unor tronsoane componente.

Analizele întreprinse au fundamentat următoarea procedură:

a) se stabilesc punctele termice, aparținînd ramificației, la care pierderile de presiune cumulate pînă la punctul de racord depășesc disponibilul impus de traseul greu;

b) se identifică tronsoanele existente pe traseul comun în alimentarea tuturor acestor puncte termice;

c) tronsoanele astfel identificate se examinează prin prisma posibilităților tehnice de majorare a diametrului, eliminîndu-se variantele de lărgire ce ar determina încălcarea telescopicității rețelei sau apariția unor viteze de circulație plasate sub valoarea minimă;

d) se determină dacă prin lărgirea diametrului unui singur tronson se realizează încadrarea în disponibilul impus. În această situație se procedează la lărgirea diametrului tronsonului ce solicită cel mai redus volum de investiții;

e) dacă majorarea diametrului unui singur tronson nu permite încadrarea în disponibilul de presiune al traseului greu, este necesar să se procedeze la mărirea diametrului și pe alte tronsoane comune, adoptînd drept criteriu de selectare a tronsonului relația următoare:

$$\frac{\Delta I_T}{\Delta H_T} = min, \qquad (3)$$

unde ΔH_T este diferența de pierderi de presiune între cele două variante de diametre (mc.a.);

f) se verifică dacă, prin parcurgerea fazelor *a-e*, rămîn în continuare puncte termice la care pierderile de presiune cumulate pînă în punctul de racord la traseul greu depășesc disponibilul de presiune al acestui traseu. Dacă astfel de puncte termice mai există, algoritmul se reia din faza *a* pentru acești consumatori, procedîndu-se astfel la eliminarea pe rînd a tuturor cazurilor care nu respectă restricția impusă (încadrarea în disponibilul de presiune al traseului greu).

Metodologia de dimensionare prezentată, și care se propune pentru introducerea în proiectare, oferă o serie de avantaje, dintre care cel mai important este acela că pune în concordanță efortul de investiții făcut pentru realizarea unui sistem de termoficare cu cheltuielile anuale de exploatare aferente, pe baza unor prețuri actualizate atît pentru conducte, cît și pentru procurarea combustibilului necesar producerii energiei electrice de pompare.

3. Analiza influențelor generate de aplicarea noului algoritm de dimensionare a rețelelor de termoficare

Pentru punerea în evidență a tuturor aspectelor legate de introducerea metodologiei de calcul propuse, s-a făcut o aplicare a acesteia pentru o serie de cazuri concrete ce pot să apară în practica de proiectare a sistemelor de termoficare.

Rezultatele obținute reliefează o serie de aspecte privind dimensionarea conductelor situate pe „traseul greu", dintre care cele mai importante sînt:

— dimensionarea optimă economic a conductelor rețelelor de termoficare este dependentă de capacitatea sursei de căldură, la CET cu sarcini mai mari dimensionarea fiind mai largă;

— debitele economice maxime și minime este necesar a fi stabilite pentru fiecare caz de dimensionare în parte, funcție de capacitatea la profil final a sistemului de termoficare;

— debitele economice maxime pe o anumită conductă, determinate prin noua metodologie,

sînt valoric inferioare celor calculate pe baza prescripţiilor de proiectare utilizate în prezent;

— atît vitezele economice de circulaţie ale agentului termic, cît şi pierderile specifice economice de presiune au valori absolute inferioare pentru diametre mai mici, ceea ce este în opoziţie cu actualul mod de dimensionare, în care diametrelor mai mari le sînt atribuite căderi specifice de presiune mai mici. Totuşi, chiar la aceste diametre mari, valorile căderilor specifice de presiune determinate prin noua metodologie sînt inferioare celor utilizate în prezent la dimensionarea reţelelor;

— valorile debitelor economice maxime şi minime pentru conductele care sînt pozate suprateran sînt, pentru aceleaşi condiţii de calcul (diametrul tronsonului şi capacitatea sursei), inferioare celor aferente conductelor realizate subteran, punînd în evidenţă influenţa valorilor de investiţii proprii celor două situaţii.

Concluzii şi propuneri

Lucrarea a avut drept scop analiza actualului mod de dimensionare a reţelelor de termoficare cu apă fierbinte şi prezentarea unei noi metodologii de calcul, care are la bază premise atît de natură tehnică cît şi economică. Problemele expuse reliefează faptul că prescripţiile de calcul folosite în prezent la proiectarea sistemelor de termoficare au la bază criterii tehnice depăşite de actuala conjunctură a preţurilor materialelor necesare realizării acestor investiţii.

Ţinînd seama de toate acestea, noua metodologie propusă abordează problematica dimensionării reţelelor de termoficare în primul rînd sub aspect economic, şi în special prin prisma evoluţiei preţului combustibilului pe plan mondial, condiţiile de natură tehnică constituind restricţii care vin să completeze criteriul economic adoptat (cheltuieli totale actualizate minime). De asemenea, propunerea vine să pună în concordanţă eforturile care se fac pentru procurarea unor materiale necesare realizării investiţiei (conducte de metal, izolaţie din vată minerală, tablă zincată, ciment, bitum etc.) cu cele aferente exploatării (energie electrică şi, implicit, combustibil).

Sub acest aspect este de remarcat faptul că noua metodologie propusă pentru dimensionarea optimă a reţelelor de termoficare conduce, pe traseul greu, la valori superioare de investiţii, care însă sînt compensate de micşorarea substanţială a cheltuielilor anuale aferente pompării agentului termic în sistemul de termoficare.

În afara avantajelor economice precizate mai sus, metodologia de calcul propusă pentru dimensionarea reţelelor de termoficare cu apă fierbinte conduce şi la o serie de îmbunătăţiri sub aspect tehnico-funcţional, deoarece asigură uniformizarea pierderilor de presiune în sistem, determinînd astfel o îmbunătăţire a stabilităţii hidraulice şi o reducere a energiei de presiune distrusă prin diafragmare la punctele termice.

Avînd în vedere cele de mai sus, se propune pentru introducerea în practica de proiectare noua metodologie prezentată (sub forma unui program de calcul, dat fiind volumul mare de muncă pe care îl presupune), completată cu o serie de elemente tehnice care să permită diminuarea la maximum şi a efortului de investiţii făcut în reţele (comportarea în timp a conductelor din reţelele de termoficare în condiţiile unor viteze ridicate de circulaţie a agentului termic)

Noi posibilităţi de urmărire a calităţii combustibililor inferiori*)

Chim. Elena Gatman-Săndulescu
Ing. Elena Antoniu
Ing. Anca Ileana Penu
— ICEMENERG —

Generalităţi

Studiul posibilităţilor de determinare prin mijloace rapide a caracteristicilor fizice şi chimice ale cărbunelui prezintă o importanţă majoră, în sensul testării calităţii combustibilului încă de pe benzile principale de alimentare, avînd drept scop reglarea parametrilor cazanului pentru o funcţionare optimă.

În cazul metodelor clasice, rezultatele analizelor în relaţia furnizor-beneficiar se comunică după circa 3—4 zile. Acest timp de analiză este mult prea mare, întrucît cărbunele, ajungînd în focar, a ars complet. Pentru a interveni la reglarea debitului de combustibil auxiliar păcură sau gaz, nu este necesar să se cunoască calitatea cărbunelui, puterea calorică inferioară, înainte ca acesta să ajungă la ardere.

Pentru aceasta este necesar să se stabilească timpul de ajungere a cărbunelui din buncăr în focar, adică raportul între cantitatea de cărbune din buncăr, consemnată practic pînă la o nouă umplere, şi debitul morilor aferente buncărului. Dacă acest timp este mai mare decît durata analizei, atunci analiza este eficientă,

*) Comunicare prezentată la a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor, cu tema: „Probleme actuale privind economisirea combustibililor şi energiei în instalaţiile industriale", Braşov, 4—6 dec. 1980.

rezultatele fiind satisfăcătoare pentru realizarea parametrilor optimi de funcționare ai cazanului; dacă timpul de staționare a cărbunelui în buncăr este mai mic decît durata analizei, rezultatele acesteia nu mai sînt utile, în sensul reglării unor parametri ai cazanului pentru o funcționare optimă. Din aceste motive a apărut necesitatea găsirii unor metode rapide de analize pentru principalele criterii de calitate: umiditate, cenușă și putere calorică, mai ales în cazul unei benzi largi de calitate ai cărei parametri — puterea calorică — prezintă variații mari, de la simplu la dublu.

Lucrarea de față se referă la unele metode rapide pentru determinarea puterii calorice inferioare a combustibililor solizi, prin stabilirea grafică a acestei valori, fie în funcție de conținutul de umiditate totală (W_t^i) și de conținutul de cenușă la starea anhidră (A^{anh}), fie numai în funcție de conținutul de umiditate totală.

Metoda clasică de determinare a puterii calorice inferioare, Q_i^i, constă în arderea completă în bomba calorimetrică a unei cantități cunoscute de combustibil, în atmosferă de oxigen la o presiune de 30 atm, căldura degajată prin ardere fiind cedată unei cantități cunoscute de apă a cărei creștere de temperatură se înregistrează. Se determină astfel puterea calorică superioară la starea de analiză a probei de cărbune (granulație < 0,2 mm).

Pentru stabilirea valorii puterii calorice inferioare, exprimată în MJ/kg, se aplică o corecție, ținînd seama de conținutul de umiditate totală și de cenușă pentru starea inițială a probei de cărbune.

Metoda prezintă dezavantajul că pentru determinarea umidității totale necesită un timp mult prea mare, și anume 72 ore; în acest mod rezultatul determinării nu este util în exploatarea rațională a instalațiilor energetice, neexistînd posibilitatea reglării consumului de combustibil auxiliar (gaz metan, păcură) în funcție de conținutul caloric al combustibilului solid supus arderii.

Metodele rapide de determinare a conținutului de umiditate totală, a conținutului de cenușă la starea anhidră, cît și a puterii calorice inferioare pentru combustibilii inferiori — ligniți — reduc timpul de analiză de la 72 ore la 8 ore pentru varianta A, 4 ore pentru varianta B și 2,5—3 ore pentru varianta C.

Notațiile utilizate au următoarele semnificații:

W_h^a — umiditatea higroscopică, la analiză (%);
W_i^i — umiditatea de îmbibație inițială (%);
W_t^i — umiditatea totală la stare inițială (%);
A^a — cenușa la stare de analiză (%);
A^{anh} — cenușa la stare anhidră (%);
A^i — cenușa la stare inițială (%);
H^i — conținut de hidrogen la stare inițială (%);
H^{mc} — conținut de hidrogen la masa combustibilă (%);
Q_s^a — putere calorică superioară la starea de analiză (MJ/kg);
Q_s^i — putere calorică superioară la starea inițială (MJ/kg);
Q_i^i — putere calorică inferioară la starea inițială (MJ/kg);
Q_s^{mc} — putere calorică superioară la masa combustibilă (MJ/kg).

Varianta A

În cazul acestei variante privind determinarea puterii calorice inferioare la starea inițială, cu ajutorul nomogramei, în funcție de conținutul de umiditate totală și de conținutul de cenușă la starea anhidră, cu o precizie de 0,418 MJ/kg, se procedează în următorul mod:

— proba prelevată conform STAS 1372—70 se prelucrează de la granulația 0—30 mm la granulația 0—3 mm. Proba sitată și omogenizată se sfertuiește, reducîndu-se în final la o greutate de 200 g, și se supune apoi determinărilor:

a) determinarea umidității totale. Se cîntăresc în dublu probe de cîte 10 g fiecare și se introduc în etuvă, menținîndu-se la temperatura de 105°C, pînă la greutate constantă. Valoarea umidității totale se calculează cu relația:

$$W_t^i = \frac{\text{pierderea în greutate}}{\text{greutatea probei inițiale}} \times 100\ (\%) \quad (1)$$

b) determinarea conținutului de cenușă la starea anhidră se efectuează pe proba de cărbune de granulație 0—3 mm uscată la anhidru, care se mojarează pînă la granulația 0—0,2 mm. În continuare se lucrează conform STAS 5265—76, cu mențiunea că valoarea obținută prin determinare reprezintă direct cenușa la stare anhidră, A^{anh}, și nu cenușa la stare de analiză, A^a, deoarece s-a lucrat cu proba uscată la anhidru;

c) stabilirea valorii puterii calorice inferioare la starea inițială.

Cu valorile umidității totale și a cenușii la stare anhidră, determinate ca la pct. a și b, se operează pe nomograma specifică bazinului carbonifer respectiv, citindu-se valoarea puterii calorice inferioare la stare inițială corespunzătoare.

Se menționează că cea mai mare reducere de timp a metodei față de metoda clasică se realizează prin reducerea timpului de determinare a umidității totale la 2,5 ore. Această reducere a duratei de determinare este redată în tabelul 1 și în figura 1.

Rezultate similare s-au obținut și în cazul probelor de lignit de granulație 0—5 mm, uscate direct în etuvă la temperatura de 150°C (tabelul 3).

Din datele prezentate în tabelele 2 și 3 se observă că la valoarea astfel determinată se adaugă o corecție de + 0,732 MJ/kg, care re-

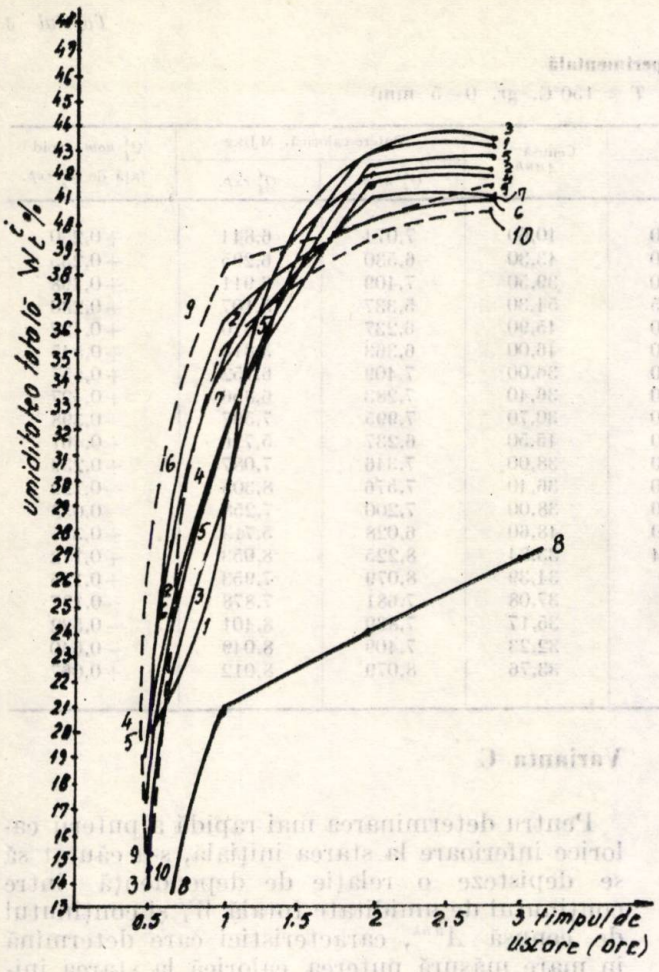


Fig. 1. Metodă indirectă de determinare a W_t^i. Pierderea în greutate a cărbunelui de Rovinari — uscare directă 105°C, gr. 3 mm.

prezintă suma a două corecții, și anume: 0,314 MJ/kg, corecție pentru nomogramă, și 0,418 MJ/kg, corecție pentru prezenta metodă.

Tabelul 1

Determinarea timpului optim de uscare prin metoda rapidă

Nr. crt.	Proba	Granulație, mm	Temp. uscare, °C	Umiditatea (%) în timp de (ore) 0,5	1	2	3
1	K.1—16.II — ora 11,15	0—3	105	19,40	28,24	43,07	43,35
2	22.II.1979 ora 14,35	0—3	105	20,30	34,70	42,00	42,38
3	K.1—17.II — ora 13,00	0—3	105	13,80	29,00	43,00	43,22
4	22.II.1979 ora 15,10	0—3	105	17,30	31,98	41,73	42,11
5	K.1—15.II — ora 19,00	0—3	105	17,30	31,47	42,49	42,91
6	21.02.1979 ora 17,20	0—3	105	19,80	36,26	40,30	41,16
7	Probă medie	0—3	105	20,20	34,68	40,93	41,23
8	Cărbune	0—3	105	8,66	20,79	23,76	26,73
9	Cărbune	0—5	105	15,38	38,46	40,00	41,70
10	Cărbune	0—3	105	14,10	35,23	39,77	40,91

Varianta B

În cadrul acestei variante se procedează ținînd seama de constanta observată în valoarea termenului $\lambda = 6\ (W_t^i + 9\ H^i)$, în urma unei prelucrări statistice asupra 100 de probe de cărbune a cărui umiditate totală variază din 0,1 în 0,1 procente.

Calculul puterii calorice inferioare plecînd de la valoarea puterii calorice superioare la analiză, determinată în laborator, este următorul:

$$Q_s^i = Q_s^a \cdot \frac{100 - W_t^i}{100 - W_h^a} \qquad (2)$$

$$Q_i^i = Q_s^i - 6\ (W_t^i + 9\ H^i) \qquad (3)$$

Pentru aceasta este necesară determinarea în laborator a următoarelor caracteristici: puterea calorică superioară la analiză, umiditatea

Tabelul 2

Metoda experimentală

(uscare directă la etuvă, T = 105°C, gr. 0—3 mm)

Nr. crt.	Proba din data	Umiditate, % W_t^i	W_h^a	Cenușă, % A^{anh}	Putere calorică Q_i^i nom.	Q_i^i exp.	Q_i^i nom. rapid, față de Q_i^i exp.
1	172/20.III.1979	40,37	6,92	40,15	7,827	7,562	+0,265
2	173/20.III.1979	39,80	7,37	38,53	7,995	7,869	+0,126
3	262/20.III.1979	39,20	6,27	47,99	6,425	6,027	+0,398
4	263/20.III.1979	40,20	6,86	43,05	7,116	6,869	+0,247
5	177/22.III.1979	41,87	7,89	38,50	7,576	7,258	+0,318
6	178/22.III.1979	41,74	7,66	36,56	7,869	7,346	+0,523
7	179/22.III.1979	41,30	7,69	39,54	7,514	7,066	+0,448
8	180/22.III.1979	43,73	7,24	30,01	8,958	8,606	+0,352
9	268/22.III.1979	41,61	7,36	41,46	7,576	7,116	+0,460
10	269/22.III.1979	41,50	7,04	37,20	8,163	7,786	+0,377
11	270/22.III.1979	42,22	7,64	37,08	7,765	7,639	+0,126
12	271/23.III.1979	41,88	7,76	33,30	8,434	8,342	+0,092
13	pr. G. 2/22.03.79	40,66	7,82	36,05	8,204	8,154	+0,058
14	pr. G. 3/23.03.79	42,95	7,69	33,91	8,141	8,317	−0,176
15	pr. G. 5/22.03.79	42,27	7,60	37,88	7,702	7,920	−0,218
16	pr. G. 6/23.03.79	43,26	7,55	32,19	8,455	8,723	−0,268

Tabelul 3

Metoda experimentală

(uscare direct la etuvă la $T = 150°C$, gr. 0–5 mm)

Nr. crt.	Proba din data	Umiditate %		Cenușă %	Putere calorică, MJ/kg		Q_i^i *nom.* rapid față de Q_i^i *exp.*
		W_t^i	W_h^a	A^{anh}	Q_i^i *nom.*	Q_i^i *exp.*	
1	278/24.03.1979	42,40	3,90	40,60	7,074	6,844	+0,230
2	188/24.03.1979	43,20	4,40	43,30	6,530	6,295	+0,235
3	289/25.03.1979	41,50	2,50	39,50	7,409	6,911	+0,498
4	288/25.03.1979	38,50	2,35	54,30	5,337	5,107	+0,230
5	189/25.03.1979	42,20	2,70	45,90	6,237	5,810	+0,427
6	192/26.03.1979	41,40	4,00	46,00	6,363	5,818	+0,545
7	194/26.03.1979	44,70	2,90	36,00	7,409	6,752	+0,657
8	193/26.03.1979	44,90	4,50	36,40	7,283	6,856	+0,427
9	203/27.03.1979	46,10	4,80	30,70	7,995	7,597	+0,398
10	301/27.03.1979	42,70	3,80	45,50	6,237	5,776	+0,461
11	302/27.03.1979	43,30	3,60	38,00	7,346	7,087	+0,259
12	208/27.03.1979	43,30	4,00	36,40	7,576	8,305	−0,729
13	209/28.03.1979	44,10	3,80	38,00	7,200	7,258	−0,058
14	215/28.03.1979	40,40	5,20	48,60	6,028	5,713	+0,315
15	1/28.03.1979	42,46	19,24	33,84	8,225	8,053	+0,172
16	2/29.03.1979	43,10	—	34,39	8,079	7,953	+0,126
17	3/29.03.1979	42,67	—	37,08	7,681	7,878	−0,197
18	4/29.03.1979	43,30	—	35,17	7,869	8,401	−0,532
19	5/30.03.1979	43,17	—	32,23	7,409	8,049	−0,640
20	6/30.03.1979	43,58	—	33,76	8,079	8,012	+0,067

totală și umiditatea higroscopică. Or, pentru determinarea umidității higroscopice trebuie determinată umiditatea de îmbibație.

Umiditatea totală se calculează cu următoarea formulă:

$$W_t^i = W_i^i + \frac{100 - W_i^i}{100} \times W_h^a \qquad (4)$$

De aici se poate calcula W_h^a ca fiind:

$$W_h^a = \frac{100\,(W_t^i - W_i^i)}{100 - W_i^i} \qquad (5)$$

Valoarea termenului $6(W_t^i + 9H^i)$ s-a determinat ca fiind egală cu 1,444 MJ/kg.

Modul de lucru este următorul:

a) Se determină umiditatea de îmbibație la 60°C conform STAS 5264/76 și umiditatea totală conform variantei A, punctul a). Se calculează W_h^a cu formula (5).

b) Se determină puterea calorică superioară la analiză conform STAS 5269/76.

c) Calculul puterii calorice inferioare la inițial:

$$Q_s^i = Q_s^a \times \frac{100 - W_t^i}{100 - W_h^a}$$

$$Q_i^i = Q_s^i - 1{,}444 \text{ (MJ/kg)}$$

În acest mod se elimină determinarea conținutului de cenușă și timpul total de lucru se reduce de la 8 ore în varianta A la 4 ore.

Varianta C

Pentru determinarea mai rapidă a puterii calorice inferioare la starea inițială, s-a căutat să se depisteze o relație de dependență între conținutul de umiditate totală W_t^i și conținutul de cenușă A^{anh}, caracteristici care determină în mare măsură puterea calorică la starea inițială.

Pentru a obține date reprezentative de dependență s-a procedat în modul următor: pentru fiecare conținut de umiditate, valori din 0,1 în 0,1%, s-au extras toate valorile de cenușă întîlnite din rezultatele analizelor zilnice de la CTE Rovinari pe o perioadă de 2 ani și s-a calculat o valoare medie pentru conținutul de cenușă A^{anh} corespunzător la aceeași umiditate. Aceste valori au fost reprezentate grafic, obținîndu-se curba din figura 2, care arată dependența A_{med}^{anh} de W_t^i. Se menționează că valorile A_{med}^{anh} au fost obținute prin prelucrarea a 2500 rezultate.

Curba obținută prezintă o alură diferită pe trei intervale de umiditate, și anume:

— pentru W_t^i (36,0; 38,5) — arc de hiperbolă, a cărei ecuație matematică este $A^{anh} = \frac{2069}{W_t^i}$;

— pentru W_t^i (38,5; 43,4) — dreaptă a cărei ecuație matematică este $A^{anh} = 169{,}228 - 3{,}024\ W_t^i$;

— pentru W_t^i (43,4; 46,0) — arc de hiperbolă a cărei ecuație matematică este $A^{anh} = \frac{1500{,}49}{W_t^i}$.

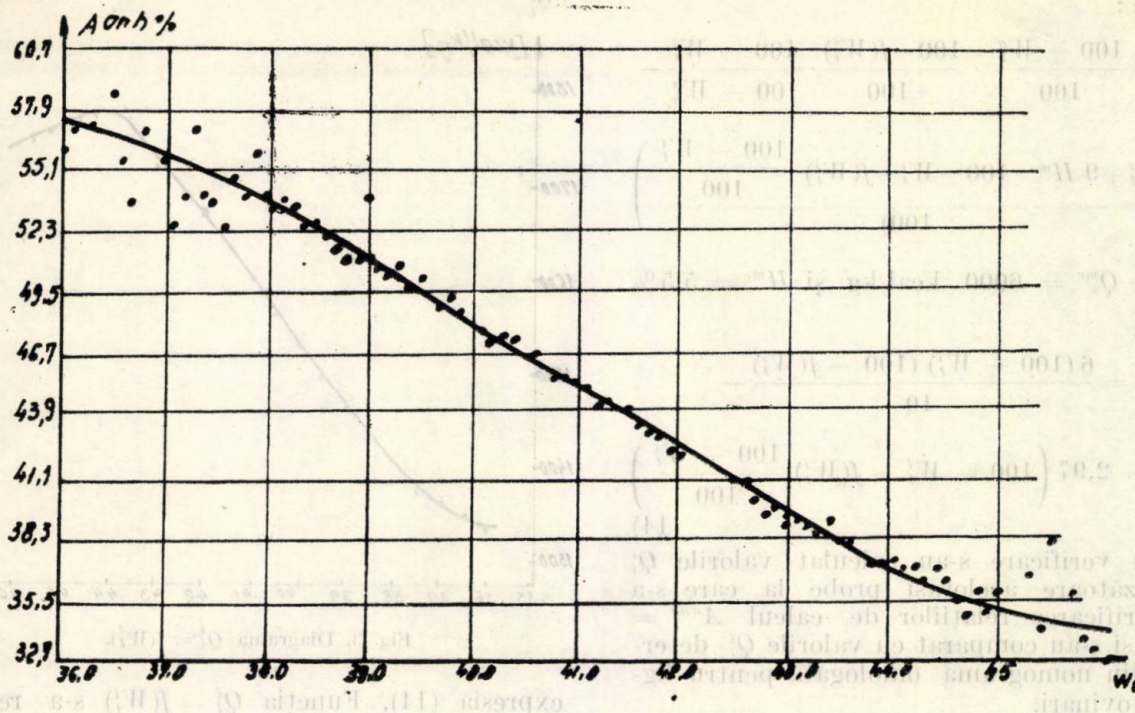


Fig. 2. Diagrama $A^{anh} = f(W_t^i)$.

Coeficienţii numerici din relaţiile de mai sus au fost determinaţi experimental, efectuîndu-se apoi un calcul de verificare prin comparaţie între valorile obţinute pentru A^{anh} calculat cu aceste relaţii şi A^{anh} determinat prin analize.

Diferenţele între aceste valori sînt redate în tabelul 4, din care se remarcă o bună concordanţă între valorile calculate şi valorile determinate.

Exprimarea puterii calorice inferioare (Q_i^i) în funcţie de umiditatea totală (W_t^i).

Relaţiile de calcul pentru puterea calorică indicată prin STAS 5269/76 sînt următoarele:

$$Q_s^i = Q_s^a \frac{100 - W_t^i}{100 - W_h^a}$$

$$Q_i^i = Q_s^i - 6\,(W_t^i + 9\,H^i)$$

(relaţiile 2 şi 3 de la varianta *B*) şi:

$$H^i = H^{mc} \times \frac{100 - W_t^i - A^i}{100} \tag{6}$$

$$A_, = A^{anh} \frac{100 - W_t^i}{100} \tag{7}$$

$$A^{anh} = A^a \frac{100}{100 - W_h^a} \tag{8}$$

$$Q_s^{mc} = Q_s^a \frac{100}{100 - W_h^a - A^a} \tag{9}$$

Înlocuind expresiile H^i, A^i, A^a în ecuaţia (3), vom avea:

$$Q_i^i = Q_s^a \frac{100 - W_t^i}{100 - W_h^a} -$$

$$-6\,W_t^i + 9H^{mc}\left(\frac{100 - W_t^i - A^{anh}\dfrac{100 - W_t^i}{100}}{100}\right) \tag{10}$$

Ecuaţiile (8) şi (9) se mai pot scrie şi sub forma:

$$A^a = \frac{100 - W_h^a}{100} \times A^{anh} \tag{11}$$

$$Q_s^a = Q_s^{mc} \frac{100 - W_h^a - A^a}{100} \tag{12}$$

Înlocuind (11) şi (12), se obţine:

$$Q_s^a = Q_s^{mc} \frac{(100 - W_h^a) - A^{anh}\dfrac{100 - W_h^a}{100}}{100} =$$

$$= Q_s^{mc} \frac{(100 - W_h^a) \times 100 - A^{anh}(100 - W_h^a)}{10^4}$$

$$Q_s^a = Q_s^{mc} \frac{100 - W_h^a}{100} \times \frac{100 - A^{anh}}{100} \tag{13}$$

Se notează $A^{anh} = f(W_t^i)$ cu expresiile menţionate anterior. Efectuînd înlocuirile necesare,

se obține :

$$Q_i^i = Q_s^{mc} \frac{100 - W_h^a}{100} \cdot \frac{100 - f(W_t^i)}{100} \cdot \frac{100 - W_t^i}{100 - W_h^a} -$$

$$- 6 \left(\frac{W_t^i + 9\, H^{mc} \cdot 100 - W_t^i - f(W_t^i)}{100)} \frac{100 - W_t^i}{100} \right)$$

Pentru $Q_s^{mc} = 6000$ kcal/kg și $H^{mc} = 5{,}5\,\%$ rezultă :

$$Q_i^i = \frac{6\,(100 - W_t^i)\,(100 - f(W_t^i)}{10} -$$

$$- 6\, W_t^i - 2{,}97 \left(100 - W_t^i - f(W_t^i) \frac{100 - W_t^i}{100} \right) \qquad (14)$$

Pentru verificare s-au calculat valorile Q_i^i corespunzătoare acelorași probe la care s-a făcut verificarea relațiilor de calcul $A^{anh} = f(W_t^i)$ și s-au comparat cu valorile Q_i^i determinate din nomograma omologată pentru lignitii de Rovinari.

Aceste valori sînt prezentate în tabelul 4.

Diferențele care apar arată o bună concordanță între datele comparate, confirmîndu-se corectitudinea funcției $Q_i^i = f(W_t^i)$ redată prin expresia (14). Funcția $Q_i^i = f(W_t^i)$ s-a reprezentat grafic, obținîndu-se curba din figura 3.

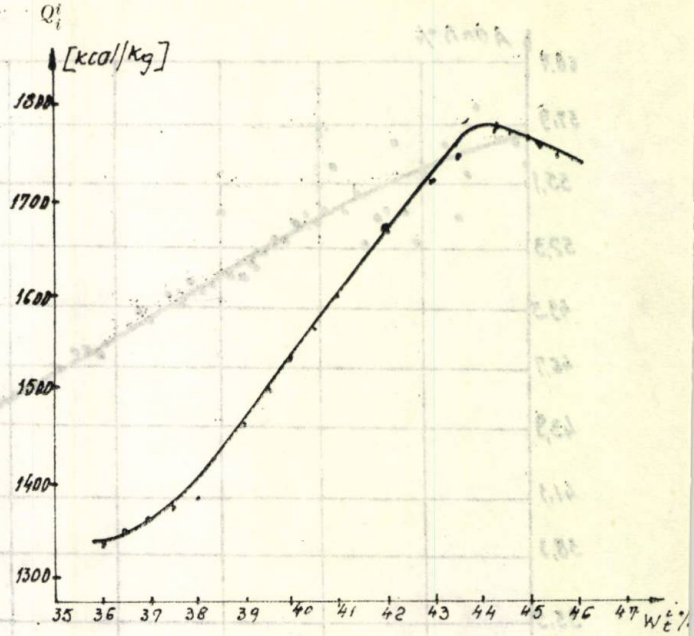


Fig. 3. Diagrama $Q_i^i = f(W_t^i)$.

În esență, metoda necesită prelucrarea datelor ca mai sus pentru fiecare bazin carbonifer, obținîndu-se în final cîte o diagramă specifică,

Tabelul 4

Calculul puterii calorifice inferioare, Q_i^i, funcție de conținutul de umiditate, W_t^i

Relația de calcul A^{anh}	W_t^i %	$A_{det.}^{anh}$ %	$A_{calc.}^{anh}$ %	$A_{det}^{anh} - A_{calc.}^{anh}$ %	Q_i^i det MJ/kg	Q_i^i calc. MJ/kg	Q_i^i det − Q_i^i calc. MJ/kg
$A^{anh} = \frac{2069}{W_t^i}$	36,00	57,460	57,472	−0,012	5,232	5,592	−0,360
	36,50	56,836	56,684	+0,152	5,274	5,646	−0,372
	37,00	55,940	55,918	+0,022	5,337	5,701	−0,364
	37,50	54,876	55,173	−0,297	5,420	5,747	−0,327
	38,00	53,756	54,447	−0,691	5,483	5,785	−0,302
	38,50	52,580	53,740	−1,160	5,546	5,822	−0,276
$A^{anh} = 169{,}228 - 3{,}024 \cdot W_t^i$	39,00	50,956	51,299	−0,336	5,902	6,111	−0,209
	39,54	49,500	49,672	−0,172	6,132	6,270	−0,138
	40,00	48,156	48,268	−0,112	6,270	6,404	−0,125
	40,49	46,700	46,790	−0,090	6,446	6,542	−0,096
	41,00	45,300	45,244	+0,056	6,613	6,680	−0,067
	41,50	43,900	43,730	+0,170	6,823	7,086	−0,763
	42,00	42,440	42,220	+0,220	6,948	6,944	+0,004
	42,48	41,100	40,780	+0,320	7,095	7,065	+0,030
	43,00	39,308	39,196	+0,112	7,283	7,191	+0,092
	43,42	38,300	37,936	+0,364	7,409	7,292	+0,117
$A^{anh} = \frac{1590{,}49}{W_t^i}$	43,67	37,628	36,420	−1,208	7,597	7,451	+0,146
	44,00	36,956	36,146	−0,809	7,555	7,430	+0,125
	44,33	36,172	35,878	−0,294	7,555	7,409	+0,146
	44,67	35,500	35,605	+0,105	7,534	7,384	+0,192
	45,00	35,052	35,340	+0,288	7,513	7,342	+0,171
	45,33	34,604	34,086	+0,482	7,534	7,334	+0,200
	45,67	34,380	34,820	+0,440	7,451	7,304	+0,147
	46,00	34,268	34,575	+0,307	7,472	7,279	+0,193

de tipul celei prezentate în figura 3. După aceasta, modul de lucru efectiv constă în următoarele operații :

a) Se determină rapid, conform variantei *A* pct. a, umiditatea totală a probei de analiză la granulația 0—3 mm.

b) Din figura 3 se citește valoarea puterii calorice inferioare la stare inițială, corespunzătoare umidității determinate.

Timpul de analiză se reduce în acest mod la 2,5—3 ore, iar eroarea metodei este de maximum ± 5% din valoarea reală a puterii calorice, sau de ± 0,370 MJ/kg.

Din cele prezentate mai sus reiese utilitatea metodelor, în special a celei din varianta C, pentru care se realizează durata cea mai mică de analiză, obținîndu-se posibilitatea reglării debitului de combustibil auxiliar la arderea combustibilului solid. Pentru realizarea acestui deziderat, precizia metodei este suficientă. Astfel se poate realiza urmărirea rapidă a principalului criteriu de apreciere a calității combustibililor utilizați în exploatare.

Modelarea fizică în canal hidraulic a dispersiei poluanților în atmosferă în jurul centralelor termoelectrice*)

Dr. chim. **Maria Maftei**
Ing. **Cornel Moțiu**
— ICEMENERG —

Prof. dr. ing. **Adrian Radu**
Conf. dr. ing. **Iancu Hîncu**
Șef lucr. dr. ing. **Veronica Radu**
Asist. ing. **Mihai Luca**
Ing. **Const. Horga**
— Institutul politehnic Iași —

În cadrul acțiunilor privind realizarea programului de dezvoltare și modernizare a bazei energetice a țării se acordă o atenție deosebită dispersiei gazelor emise prin coșuri de fum. Pentru aprecierea concentrațiilor de poluanți la nivelul terenului, în condiții de relief accidentat caracteristice multor centrale energetice din țara noastră, s-a recurs la modelarea fizică analogică a penelor de fum cu flotanță pozitivă, în canal hidraulic. Cercetările au avut ca obiect stabilirea unor metode adecvate de reproducere a fenomenului de dispersie pe bază de similitudine și s-au referit la centralele termoelectrice din Iași, Deva-Mintia și Anina.

Stadiul problemei la nivel mondial

Cu toate eforturile depuse și succesele obținute în direcția dezvoltării metodelor de calcul analitic și numeric, calea modelărilor fizice este apreciată ca singura care poate permite o analiză aprofundată a problemei atunci cînd în calea curenților de aer care dispersează pana de fum se află obstacole importante determinate de relief sau construcții mari [1]. Procesul de difuzie a gazelor datorită amestecului turbulent este bine înțeles în principiu. Totuși, metodele de calcul bazate pe evaluarea înălțării penei de fum datorită impulsului și flotabilității, după care se consideră că pana ar fi neflotantă, țîșnind dintr-o sursă orizontală situată la înălțimea de ascensiune astfel evaluată, conduc la rezultate sigure numai atunci cînd domeniul de dispersie este oarecum ideal : teren plan și sursă de emisie care depășește, datorită înălțimii, zona în care se resimte prezența construcțiilor și terenului.

Limitele actuale de utilizare a metodelor de calcul numeric pentru soluționarea problemelor de dispersie în atmosferă sînt ilustrate de procedeul hibrid aplicat în Anglia pentru studiul răspîndirii fumului și căldurii pe platformele marine [2]. Cîmpul spațial de viteze se stabilește în tunel aerodinamic, iar datele obținute prin modelarea fizică sînt apoi preluate de un calculator care indică în final concentrațiile de poluant și temperaturile pe platformă.

Există în prezent un acord general asupra faptului că următoarele situații implică reproducerea fenomenului de răspîndire a gazelor pe bază de modele fizice [3] :

— cînd pana de fum este atrasă în jos, datorită vîrtejurilor provocate de clădiri sau chiar de coșul de fum ;

— dispersia penei de fum are loc deasupra unui teren cu relief complex ;

— cînd apare o stratificație termică defavorabilă a atmosferei.

Probleme de acest fel, pentru zonele Gibraltar [4] și Bayview Hill din San Francisco, au fost simulate cu succes la scara 1 : 5000 ... ... 1 : 800, rezultatele fiind apreciate ca deplin satisfăcătoare [1]. Sînt de asemenea semnalate multe studii recente efectuate în canal hidraulic [5].

Încercările pe bază de modelare fizică sînt un mijloc eficient de prevedere a imisiunilor. Dar este evident că valoarea rezultatelor depinde în mod esențial de :

— respectarea criteriilor de similitudine, în care intervin parametrii principali ai fenomenului ;

— utilizarea unor mijloace corespunzătoare pentru efectuarea cercetărilor (tunel aerodinamic sau canal hidraulic de mari dimensiuni) ;

*) Comunicare prezentată la Sesiunea de comunicări tehnico-științifice a ICEMENERG „Contribuții la dezvoltarea energeticii românești", București, iunie 1980.

— existența unei anumite experiențe în efectuarea experimentărilor, deoarece modelarea nu este numai o tehnică, ci și o artă.

Justificarea încercărilor în canal hidraulic

În cadrul Institutului politehnic Iași s-a recurs la modelarea fizică în canal hidraulic pe bază de analogie între :

— fenomenele aerodinamice de dispersie turbulentă a unui amestec de gaze flotante sub influența vîntului ;

— dispersia turbulentă în canal hidraulic a unui lichid mai ușor ca apa și perfect miscibil cu aceasta.

Cele două fenomene sînt calitativ diferite, dar prezintă o identitate perfectă a ecuațiilor care modelează matematic procesele, astfel încît analogia este justificată.

Din punct de vedere practic, utilizarea canalului hidraulic a oferit următoarele avantaje :

— disponibilitatea unui canal hidraulic cu dimensiuni corespunzătoare (tunelul aerodinamic mare al Institutului politehnic Iași urmează a intra în funcțiune) ;

— posibilitatea realizării vitezelor mici impuse de criteriul Froude, asigurîndu-se totuși curgerea turbulentă, deoarece viscozitatea cinematică a apei ($\nu_{apă} = 0{,}010$ cm²/s) este sensibil mai mică decît cea a aerului ($\nu_{aer} = 0{,}150$ cm²/s) ;

— posibilitatea simulării flotabilității emisiei cu un amestec de apă și alcool etilic ;

— controlul mai simplu al debitelor și vitezelor, vizualizarea și măsurarea foarte precisă a concentrațiilor pe probe recoltate.

Condiții de similitudine. Dificultăți de ordin practic

Ținînd seamă de mărimea zonelor modelate, au fost adoptate scări de reducere a lungimilor $S_L = 1/5000 \ldots 1/1000$. Acestea au fost respectate integral, inclusiv pentru diametrul gurii de evacuare a coșului și pentru grosimea stratului limită al atmosferei terestre în care viteza medie la înălțimea z variază după o lege exponențială :

$$V_z = V_{z_1} \cdot \left(\frac{z}{z_1}\right)^a, \qquad (1)$$

în care a este o constantă ce depinde de rugozitatea terenului.

Scări S_L 1/5000 nu permit reproducerea corectă a formelor de relief și a coșului de fum. Chiar și la scările utilizate a fost necesar ca interiorul coșului machetă să fie executat rugos, pentru a determina o curgere turbulentă în interiorul său, considerînd că o emisie de jet laminar ar denatura forma penei lîngă orificiul de ieșire.

O modelare perfectă ar implica simularea completă a structurii vîntului, oglindită statistic prin profilul vitezei medii deasupra terenului, intensitatea turbulenței și densitatea spectrală de energie. Ar fi, de asemenea, necesară respectarea criteriilor Reynolds, Rossby, Richardson și Eckert.

— Condiția referitoare la profilul de viteză medie a fost respectată potrivit relației (1). În general lipsesc date suficiente obținute din observații meteorologice care să precizeze această variație pe amplasament. Pe model au fost reproduse obstacolele din amonte, rugozitatea terenului și formele de relief din zonă.

— În ceea ce privește intensitatea turbulenței și densitatea spectrală de energie, acestea au fost apreciate numai calitativ, mai ales din cauza lipsei unor mijloace adecvate de măsurare a acestor valori medii statistice. S-a avut în vedere faptul că scara energiei disipate prin curgerea turbulentă, S_E, este legată de scările vitezei S_V și lungimilor S_L printr-o relație de forma [6] :

$$S_E = S_V^3 / S_L, \qquad (2)$$

și din această cauză au fost luate măsuri de amplificare a turbulenței curgerii folosind generatori de vîrtejuri sub formă de dinți triunghiulari.

Admițînd că structura vîntului la intrarea în zona modelată este corect simulată, o modelare perfectă ar implica în plus și satisfacerea condiției de egalitate a numerelor Reynolds pentru natură și model, astfel încît cîmpul de viteze să fie identic. Această condiție nu poate fi îndeplinită din motive de ordin practic (imposibilitatea realizării unor viteze suficient de mari) și din motive de ordin teoretic (respectarea criteriului Froude implică viteze mult mai mici în model decît în natură). Însă numeroase experimentări au permis să se constate că, exceptînd curgerea pe lîngă suprafețe rotunde, netede, fenomenul este automodelat pentru orice situații în care se asigură $\mathrm{Re} > \mathrm{Re}_{critic}$. La modelările în canal hidraulic, luînd ca referință o lungime de un metru

$$\mathrm{Re} = \frac{10 \times 100}{0{,}01} = 1 \cdot 10^5 \qquad (3)$$

Rezultă astfel că automodelarea este asigurată [7]. În ceea ce privește forma obstacolelor naturale, aceasta este neaerodinamică și rugoasă. Concluzia este importantă, deoarece chiar la cele mai înalte coșuri pana este afectată, cel puțin în partea sa inferioară, de către vîrtejurile cauzate de obstacolele de pe teren și de direcția local ascendentă sau descendentă a liniilor de curent.

Criteriile Rossby, Richardson și Eckert au fost neglijate, ceea ce revine la a nu ține seamă de rotirea pămîntului (forța Coriolis), de stratificația termică a atmosferei și de compresibilitatea aerului.

O serie de condiții se referă la pana de fum și interacțiunea acesteia cu masele de aer în mișcare.

Flotabilitatea penei de fum implică egalitatea criteriului Froude :

$$\frac{\Delta\rho_{g,N}}{\rho_N}\cdot\frac{L_N}{V^2_{v,N}}=\frac{\Delta\rho_{g,M}}{\rho_M}\cdot\frac{L_M}{V^2_{v,M}}, \qquad (4)$$

precum și a raportului densităților fluidelor :

$$\frac{\rho_{g,N}}{\rho_N}=\frac{\rho_{g,M}}{\rho_M} \qquad (5)$$

— Impulsul penei de fum și al vîntului implică egalitatea expresiilor :

$$\frac{\rho_{g,N}\cdot V^2_{g,N}}{\rho_N\cdot V^2_{v,N}}=\frac{\rho_{g,M}\cdot V^2_{g,M}}{\rho_M\cdot V^2_{v,M}}. \qquad (6)$$

în care

ρ_N, ρ_M reprezintă densitatea aerului și cea a apei care îl modelează ;

ρ_g — idem, a emisiei din coșul de fum ;

$V_{v,N}$, $V_{v,M}$ — viteza vîntului și viteza apei în canalul hidraulic ;

V_g — viteza fluidului emis din coșul de fum ;

$\Delta\rho=\rho-\rho_g$ — respectiv pentru natură și model ;

N, M — indici pentru condițiile din natură și din modelare.

— Se observă că o condiție suplimentară referitoare la viteze, avînd forma :

$$\frac{V_{v,N}}{V_{g,N}}=\frac{V_{v,M}}{V_{g,M}}, \qquad (7)$$

se reduce de fapt la cele precedente.

Notînd cu S_L scara lungimilor, cu $S_{V,v}$ scara vitezei vîntului și cu $S_{V,g}$ scara vitezei fluidului emis la gura coșului de fum, din condițiile (4) și (6) rezultă :

$$S_{V,g}=S_{V,v}\sqrt{\frac{\left(\frac{\rho_g}{\rho}\right)_N}{\left(\frac{\rho_g}{\rho}\right)_M}} \text{ și } S_{V,v}=\sqrt{S_L}\cdot\sqrt{\frac{\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)_M}{\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)_N}} \qquad (8)$$

În cazul modelărilor în canal hidraulic pentru un coș de fum care emite gaze fierbinți avînd densitatea $\rho_{g,N}=0{,}835$ kg/m³, la scara $S_L=1/5000$ și ținînd seamă de posibilitatea utilizării unor amestecuri de apă-alcool cu densitățile $\rho_{g,M}=0{,}835\ldots0{,}900$, rezultă valorile utilizabile în practică redate în tabelul 1.

Se observă că respectînd condițiile Froude și pe cea referitoare la impuls, se introduce o distorsiune în privința concentrațiilor, distorsiune care poate fi ușor corectată la interpretarea rezultatelor. De asemenea se mai cauzează o distorsiune privind raportul densităților. Asupra acesteia nu există încă o opinie formată [1], [3]. Din această cauză s-a preferat modelarea cu scările $S_{V,v}=1/100$ și $S_{V,g}=1/112$, luînd $\rho_{g,M}=0{,}835$, pentru care distorsiunea referitoare la raportul densităților este cea mai mică.

Tabelul 1

Scările vitezelor $S_{V,v}$	Scările vitezelor $S_{V,g}$	Densitatea fluidului emis în model $\rho_{g,M}$	Raportul între densități $\frac{\rho_{g,N}}{\rho_N}$	Raportul între densități $\frac{\rho_{g,M}}{\rho_M}$	Valori constante
1/128,45	1/181,66	0,900	0,696	0,900	$\rho_N=1{,}200$
1/110,00	1/124,89	0,864	0,696	0,864	$\rho_M=1{,}000$
1/100,00	1/111,60	0,835	0,696	0,835	$\rho_{g,N}=0{,}835$

Modelări realizate și rezultate

Prima modelare a fost realizată prin CET Iași, la scara $S_L=1/1000$ (fig. 1). Simularea penei de fum a fost limitată la impuls care a fost mărit pentru a compensa lipsa de flotabilitate. În afară de concluziile referitoare la metodologie, s-a constatat că, variind raportul $V_{g,M}/V_{v,M}$, distanța de întîlnire a penei de fum cu terenul crește aproape liniar (fig. 2). În ceea ce privește relieful, datorită faptului că terenul prezintă mai întîi o zonă de cîmpie și apoi dealuri, pînă la o anumită viteză a vîntului pana este împinsă în sus, depășind astfel ridicăturile aflate la aceeași cotă cu vîrful coșurilor. Dacă raportul $V_{g,M}/V_{v,M}$ este redus din cauza pesterii vitezei vîntului modelat, ascensiunea renei de fum devine insuficientă pentru a depăși dealurile. Vîrtejurile care iau naștere înaintea dealului ating partea inferioară a penei de fum și o trag în jos.

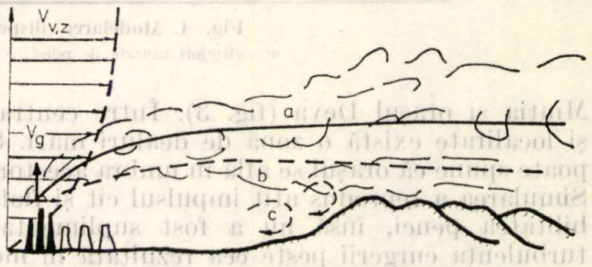


Fig. 1. Modelarea penei de fum la CET Iași.
a — axa penei la valori mari ale raportului Vg/V_v ; *b* — idem, la valori mici ale raportului Vg/V_v ; *c* — vîrtejuri determinate de relief.

A doua modelare a fost realizată la scara $S_L=1/5000$, avînd ca obiect zona dintre CTE

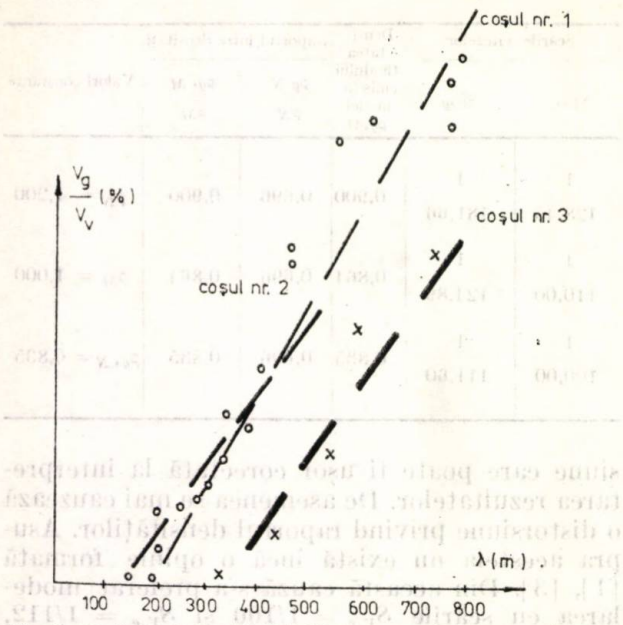


Fig. 2. Variaţia distanţei de întîlnire a penei de fum cu terenul la diverse rapoarte V_g/V_v.

însă la înălţimea de ascensiune calculată. Înălţimile dintre centrală şi oraş au în general un efect favorabil, protejîndu-l, pînă la viteze mari ale vîntului.

Pentru urmărirea penei de fum prin fotografiere, au fost folosiţi coloranţi diferiţi şi în special fluoresceină. Aceasta a permis şi determinări cantitative de mare precizie, cu privire la concentraţiile la nivelul terenului. În paralel au fost executate şi determinări asupra ionului de sodiu.

O altă modelare, similară cu cea pentru Deva, a fost realizată pentru zona CTE Anina — oraşul nou Anina (fig. 4). A fost modelat întîi terenul plan, apoi cel real, frămîntat, iar turbulenţa curgerii a fost stimulată cu generatori de vîrtejuri sub formă de dinţi triunghiulari. Spre deosebire de situaţia de la Deva, în direcţia localităţii nu se mai afla un dig format de dealurile transversale, ci văi încrucişate şi coline înalte. Din această cauză, pana de fum este atrasă mai repede în jos în văi. Concentraţiile la nivelul terenului, determinate prin

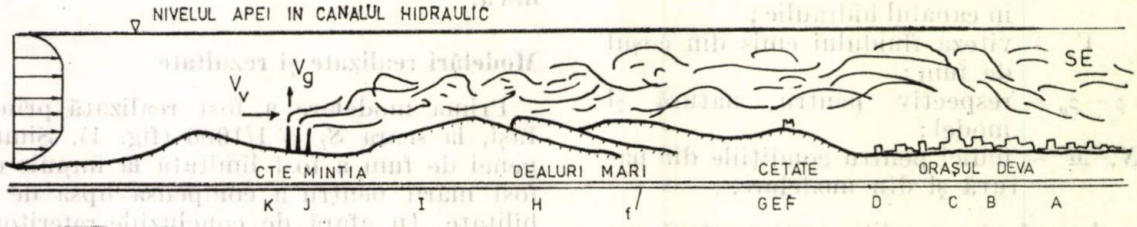


Fig. 3. Modelarea dispersiei de fum la CTE Deva—Mintia.
K . . . A — prize pentru recoltarea probelor; *f* — fundul canalului hidraulic

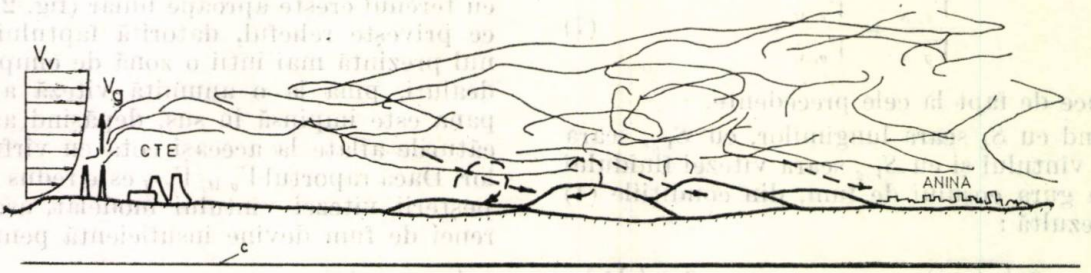


Fig. 4. Modelarea dispersiei penei de fum la CTE Anina:
a — vîrtejuri cauzate de relief; *b* — curenţi descendenţi în văi; *c* — fundul canalului.

Mintia şi oraşul Deva (fig. 3). Între centrală şi localitate există o zonă de dealuri mari. Se poate spune că oraşul se află în umbra acestora. Simularea a reprodus atît impulsul cît şi flotabilitatea penei, însă nu a fost suplimentată turbulenţa curgerii peste cea rezultată în mod natural datorită obstacolelor şi rugozităţilor dispuse în amonte de centrală şi în aval. Ascensiunea penei a corespuns foarte bine cu cea rezultată în calcul potrivit relaţiei lui Holland, avînd în plus o supraînălţare suplimentară datorită dealurilor. Acest efect a putut fi foarte bine evidenţiat cu ajutorul unei pene de fum care a fost emisă special cu direcţia orizontală, analiza de laborator a probelor, au permis să se constate valori crescătoare la trecerea de la modelarea iniţială cu teren plan, la cea cu relieful real şi de asemenea cînd viteza vîntului a fost mărită succesiv de la 8 m/s la 10 m/s şi la 12 m/s. Situaţia este prezentată schematic în figura 3.

Concluzii

Din studiile efectuate a rezultat că modelarea fizică în canal hidraulic este un mijloc eficient de prognozare a concentraţiilor de poluant purtat de vînt, în cazul unor condiţii variate

de relief, care modifică mult rezultatele în raport cu un teren plan. Modelarea este deosebit de utilă atît la proiectarea de noi unități energetice, cît și la transformarea celor existente pentru utilizarea de noi combustibili.

Bibliografie

[1] Cermak, J. *Applications of Fluid Mechanics to Wind Enginering.* A Freeman Scholar Lecture, 1974.

[2] Dean, R. *Computation Atkins Flow Evaluation.* CAFE, 1979.

[3] Isyumov, N. și Tanaka, H. *Wind Tunnel Modelling of Stack Gas Dispersion.* The Univ. of Western Ontario, BLWT Lab., 1979.

[4] Cook, N. și Coulson, B. *Wind Conditions around the Rock of Gibraltar.* BRE, CP 22/1978.

[5] Rigard, J. *Etude sur modèle en analogie hydraulique d'un problème de pollution atmosphérique en site urbain.* În: Techn. Sanit. Municip. L'Eau nr. 2, 1978.

[6] Landau, L. și Lifchitz *Mécanique des fluides.* Ed. MIR, Moscova, 1971.

[7] Snyder, W. *Similarity Criteria for the Application of the Fluid Models to the Study of Air Pollution Meteorology.* În: Bound. — Layer Met., nr. 3, 1972.

Readitivarea uleiurilor de turbină folosite în exploatarea turboagregatelor

Ing. W. Gooss *)

Generalități

Fabricarea unor uleiuri aditivate de calitate superioară, manifestată prin proprietăți antioxidante, anticorosive și antispumante optime și crearea unor condiții constructive, respectiv a unei stări tehnice deosebite, creează premisele necesare unei funcționări sigure a turboagregatelor utilizate în centralele termoelectrice.

Un rol important în realizarea funcționării corespunzătoare a turbinelor în exploatare revine tehnicienilor din termocentrale, care, printr-o urmărire adecvată atît a variației caracteristicilor fizico-chimice și a testelor de performanță ale uleiurilor, cît și ale elementelor termomecanice ale turbinei, determină direct fiabilitatea uleiurilor, a turbinei și modul de funcționare a acestora.

În cele ce urmează se vor reda unele aspecte legate de uleiurile aditivate cu care tehnicienii din exploatarea turbinelor sînt confruntați în practică și care pînă în prezent nu sînt reglementate prin norme sau standarde ce se aplică uleiurilor în urmărirea comportării acestora în timpul funcționării turbinelor.

Uleiurile de turbină, de calitate superioară, se realizează printr-o selecționare atentă a materiei prime și prin aplicarea unor tehnologii moderne de fabricație. Un rol important revine aditivării uleiului de bază (component), care constă în adăugarea unui aditiv polifuncțional în concentrație optimă, rezultată din studierea atentă a efectelor fiecărui component din aditiv asupra principalelor proprietăți ale uleiului.

Întrucît despre proprietățile antioxidante și antispumante conferite uleiurilor de componenții caracteristici existenți în aditivul polifuncțional, cît și despre variația acestora în exploatare, s-a scris într-o serie de publicații [1], [2], [4], [6], s-a acordat o atenție deosebită unui aspect care, pînă în prezent, a fost mai puțin tratat, și anume posibilității de a pune în evidență, pe cale spectrală, proprietățile anticorosive conferite uleiurilor de componenta anticorosivă ce există în aditivul polifuncțional.

Componenta anticorosivă suferă în exploatare o scădere treptată și continuă, fenomen care se datorează în primul rînd pătrunderilor de apă în ulei, care dizolvă în bună parte componenta anticorosivă și o elimină, odată cu apa, din circuitul de ungere, prin aplicarea operațiilor de recondiționare fizică (centrifugare-filtrare) la uleiurile din exploatarea turbinei.

Ca urmare a repetării unor astfel de situații are loc o scădere a concentrației componentei anticorosive sub limita de protecție și în consecință va începe procesul de coroziune în circuitele de ungere și de reglaj ale turboagregatelor, insuficiență ce va fi semnalată și de rezultatul testului de coroziune STAS 8441—80, care se aplică uleiurilor aditivate de turbină în exploatare.

În această situație se pune problema readitivării uleiurilor din exploatare în condițiile de funcționare ale turbinei.

R. G. Mastin [3] arată modul de scădere a concentrației componentei anticorosive, în timpul funcționării uleiului în circuitele de ungere și de reglaj ale unei turbine, corelat cu tensiunea interfacială, o metodă pe care autorul o prezintă ca foarte sensibilă și capabilă să sesizeze cu precizie momentul critic în care începe coroziunea ca o consecință a protecției insuficiente și la care se impune readitivarea anticorosivă a uleiului.

Acest lucru poate fi urmărit în figura 1, pe care Mastin a obținut-o pentru un ulei dat și un anumit aditiv anticorosiv, care funcționează în condiții normale.

Tensiunea interfacială permite stabilirea cu precizie a concentrației remanente a componentei anticorosive a aditivului într-un ulei „îmbătrînit" sau chiar uzat.

*) Ing. Werner Gooss lucrează la ICEMENERG.

Produsele de oxidare determină o scădere a tensiunii interfaciale a uleiului din care provin și în consecință se poate afirma că gradul de oxidare al uleiurilor este invers proporțional cu mărimea tensiunii interfaciale.

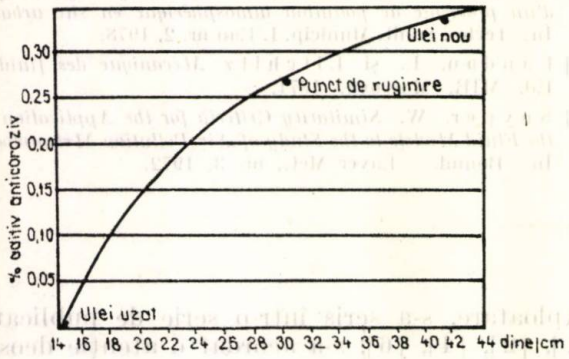


Fig. 1. Variația tensiunii interfaciale funcție de concentrația unui aditiv anticorosiv.

Trebuie să remarcăm însă faptul că această afirmație este valabilă numai pentru condiții normale de lucru, în care concentrația apei din ulei se păstrează în limitele cerute de regulamentul de exploatare a uleiurilor, deoarece, în caz contrar, adică la pătrunderi mari de apă, care ar avea drept efect scăderea concentrației componentei anticorosive din ulei, scăderea tensiunii interfaciale trebuie privită ca o consecință a acestor condiții de lucru, și nu ca o rezultantă directă dintre reacțiile de oxidare și consecințele acestora.

Deci recomandarea literaturii de specialitate [3] de a folosi tensiunea interfacială ca un criteriu determinant pentru stabilirea momentului de înlocuire a unei șarje de ulei folosit este valabilă pentru uleiuri neaditivate, iar în cazul celor aditivate trebuie privită cu mare atenție pentru a nu confunda „alterarea" uleiului, caracterizată printr-o valoare anumită a tensiunii interfaciale, cu o funcționare anormală a turbinei într-un anumit interval de timp, care poate provoca același efect în privința valorii tensiunii interfaciale.

Pentru anumite uleiuri corosive, recoltate din diferite turbine, în laboratorul de uleiuri din ICEMENERG s-au făcut investigații în scopul stabilirii condițiilor în care aceste uleiuri pot fi readitivate cu Lubrizol 859 în timpul funcționării turbinelor respective.

Experimentări în laborator

În cadrul experiențelor de laborator s-a găsit posibilitatea de a determina cantitativ, pe cale spectrală, aditivul anticorosiv Lubrizol 859 din ulei, și anume prin intermediul spectrelor de absorbție în I.R. ce s-au obținut la 1720 cm^{-1} LiF pentru Lubrizol 859 introdus într-un ulei de bază.

În figura 2 este redată curba de etalonare pentru Lubrizol 859 în ulei de bază, obținută în următoarele condiții:

— absorbție la	1720 cm^{-1} LiF
— cuvă	1,0 mm NaCl
— fantă	4
— viteza de înregistrare	25 cm^{-1}/min
— timp de scriere	16 s
— interval de înregistrare	10 mm/100 cm^{-1}
— compensație cu ulei de bază	
— amplificare	8,3

Din interpretarea statistică a valorilor extincției, corelate cu concentrația componentei anticorosive, s-a obținut următoarea regresie liniară:

$$y = 1{,}326 \cdot x - 0{,}006646,$$

în care

y este extincția obținută la 1720 cm^{-1} LiF;
x — concentrația componentei anticorosive din ulei, % greutate.

Fiind în posesia posibilității de determinare cantitativă a aditivului anticorosiv, practic două dintre problemele de importanță majoră, și anume stabilirea concentrației optime de adaos și a solubilității aditivului anticorosiv în apă, au putut fi ușor rezolvate.

Pentru a putea stabili în ce măsură aditivul anticorosiv este solubil în apa cu care vine în permanență în contact în timpul funcționării turbinei, s-a determinat variația extincției la 1720 cm^{-1} LiF, obținută pentru aditivul anticorosiv după ce s-a adăugat și omogenizat apă în diferite proporții la temperatura de 55°C, care corespunde cu temperatura medie a uleiului din circuitele de ungere ale turbinelor.

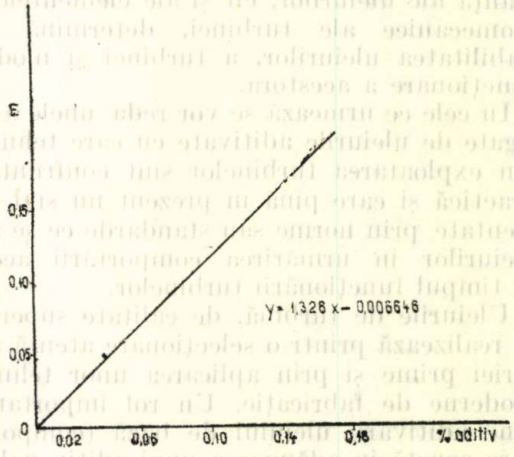


Fig. 2. Curba de etalonare L. 859 în ulei.

Variația extincției poate fi urmărită în figura 3.

În figura 4 se redă cantitatea de aditiv anticorosiv eliminată funcție de cantitatea apei adăugate.

Fiind în posesia acestui instrument analitic, s-a putut rezolva ușor problema creată de două uleiuri din exploatare, care, datorită pătrun-

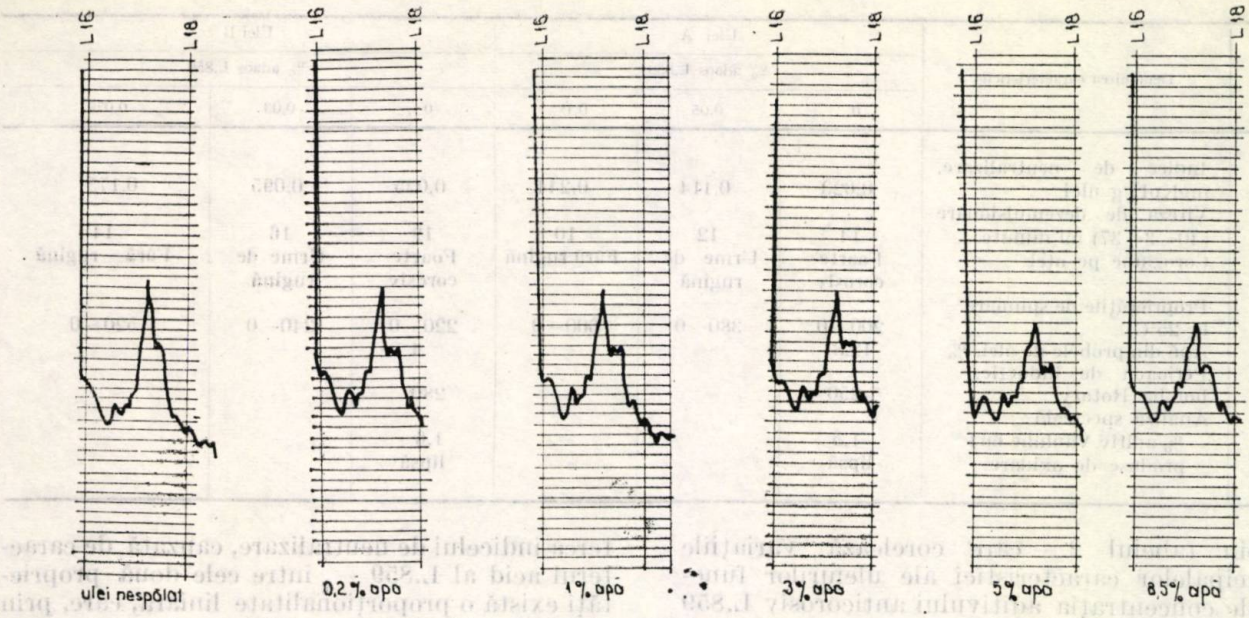


Fig. 3. Scăderea concentrației componentei anticorosive funcție de con inutul de apă din ulei.

derilor mari de apă, ce au avut drept efect eliminarea componentei anticorosive, au devenit foarte corosive, periclitînd în consecință buna funcționare a turboagregatelor.

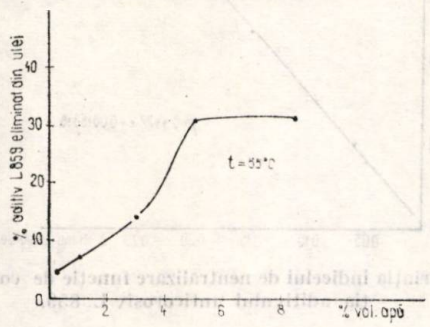


Fig. 4. Eliminarea aditivului L. 859 din ulei funcție de volumul de apă.

Pentru a putea stabili concentrația optimă a aditivului L.859, care urma să fie introdus în rezervoarele turbinelor ale căror uleiuri au devenit extrem de corosive, deși nu prezentau indicii de „îmbătrînire", după cum arată valorile principalelor caracteristici și teste de performanță, determinate pentru cele două uleiuri (ulei A și ulei B), s-a recurs la experimentări în laborator.

Rezultatele determinărilor experimentale sînt sintetizate în tabelele 1 și 2.

Se observă că uleiurile prezintă bune calități antioxidante, reflectate atît prin concentrația aditivului antioxidant, determinată prin spectroscopie de absorbție la 3650 cm^{-1} LiF — metodă studiată și aplicată uleiurilor de asemenea la ICEMENERG [5] —, cît și prin valoarea perioadei de inducție stabilită prin metoda STAS 8930—71.

Tabelul 1

Denumirea probei	Conc. L.859 %	% apă adaos	E	ΔC L.859 în ulei %	Observații
Proba 0*	0,1344	0	0,12939	—	
Proba 1	0,12487	1	0,1200	7,09	Se separă șlam albicios
Proba 2	0,128012	0,2	0,123	4,76	—
Proba 3	0,1152	3,0	0,1102	14,27	Se separă șlam albicios
Proba 4	0,09331	5,0	0,0883	30,56	Idem
Proba 5	0,09251	8,53	0,0875	31,166	Idem

* Ulei Tb.19 + 0,1344% și apoi spălat cu apă în diferite proporții.

Indicele de neutralizare, viteza de dezemulsionare, ca și proprietățile de spumare prezintă valori caracteristice pentru uleiuri noi.

Coroziunea nu provine deci din procesul de oxidare a uleiurilor din circuitele de ungere — produse care prin natura lor conferă uleiurilor supuse reacțiilor de oxidare un caracter acid și pronunțat corosiv —, ci numai datorită funcționării necorespunzătoare a celor două turbine, în care conținutul de apă depășea cu mult concentrația maximă admisă, după cum arată rezultatul analizelor aplicate unor probe prelevate din cele două agregate. În consecință, nu se poate pune problema înlocuirii șarjei de ulei ce se află în serviciu, ci doar găsirea condițiilor în care uleiurile trebuie readitivate în timpul funcționării turbinelor.

Asemenea deficiențe au apărut la mai multe turbine și au fost rezolvate în majoritatea cazurilor de chimiștii termocentralelor, care, în astfel de situații, au urmărit doar modul în care variază rezultatul testului de coroziune funcție de proporția în care a fost adăugată componenta anticorosivă în ulei.

Tabelul 2

Nr. crt.	Denumirea caracteristicii	Ulei A			Ulei B		
		% adaos L.859			% adaos L.859		
		0	0,05	0,1%	0	0,03	0,079
1	Indice de neutralizare, mgKoH/g ulei	0,023	0,114	0,244	0,035	0,095	0,175
2	Viteza de dezemulsionare (40—3—37) ml/minute	14	12	10	19	16	14
3	Coroziune pe oțel	Foarte corosiv	Urme de rugină	Fără rugină	Foarte corosiv	Urme de rugină	Fără rugină
4	Proprietățile de spumare la 25°C	200—0	380—0	600—0	220—0	340—0	520—0
5	Apă din probele de ulei, %	12,8	—	—	4	—	—
6	Perioada de inducție, bomba Rotary	250	—	—	280	—	—
7	Analiză spectrală : % aditiv Vanlube 664	1,5	—	—	1,6	—	—
	produse de oxidare	lipsă	—	—	lipsă	—	—

Din tabelul 2 — care corelează variațiile principalelor caracteristici ale uleiurilor funcție de concentrația aditivului anticorosiv L.859 — rezultă că readitivării anticorosive a uleiurilor în timpul funcționării turbinelor trebuie să i se acorde o maximă importanță. Pe lîngă faptul că apa elimină componenta anticorosivă din ulei, s-a observat că la anumite concentrații de apă, care depășesc limitele maxim admisibile pentru exploatare, se separă un șlam albicios care, în urma analizelor efectuate, s-a dovedit a fi aditiv anticorosiv precipitat. Acest precipitat poate constitui un real pericol pentru siguranța exploatării turbinei, datorită perturbării sistemului de reglaj odată cu pătrunderea șlamului în acesta.

Funcție de concentrația componentei anticorosive din ulei, unele caracteristici, ca indicele de neutralizare, proprietățile de spumare și în mai mică măsură viteza de dezemulsionare, suferă modificări sensibile, care, pentru interpretarea corectă a rezultatelor analitice, ca și pentru aprecierea justă a modului de comportare a unui ulei în exploatare, trebuie foarte bine cunoscute pentru a nu deveni victima rezultatelor experimentale proprii. De aici se desprinde din nou un aspect important, semnalat și cu alte ocazii [2], și anume acela că interpretarea rezultatelor experimentale sistematice se poate face numai în sens corelativ și că nici un criteriu aplicat controlului analitic al uleiurilor nu trebuie să fie considerat singular determinant.

Între indicele de neutralizare — o caracteristică importantă în urmărirea comportării uleiurilor în exploatare — și concentrația componentei anticorosive s-a stabilit o relație care este foarte utilă pentru interpretarea rezultatelor obținute din urmărirea sistematică a performanțelor obținute cu uleiurile aditivate de turbină.

După cum arată figura 5 — care corelează concentrația aditivului anticorosiv cu creșterea indicelui de neutralizare, cauzată de caracterul acid al L.859 —, între cele două proprietăți există o proporționalitate liniară, care, prin

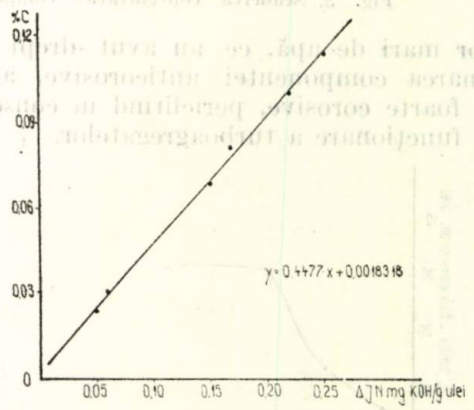


Fig. 5. Variația indicelui de neutralizare funcție de concentrația aditivului anticorosiv L. 859.

matematizarea rezultatelor experimentale, a permis obținerea unei regresii liniare de forma

$$y = 0{,}4477 \cdot x + 0{,}0018318,$$

în care

y este concentrația aditivului anticorosiv L.859 din ulei;

x — creșterea indicelui de neutralizare înregistrată datorită aditivului anticorosiv L.859.

Curba a fost realizată prin înregistrarea spectrofotometrică a variației „peak"-ului la 1720 cm^{-1}, caracteristic pentru Lubrizol 859, funcție de concentrația acestuia din ulei, și corelarea acestor date experimentale cu indicele de neutralizare corespunzător, determinat pentru fiecare concentrație de L.859 în ulei, conform STAS 23—75; înregistrarea spectrelor s-a realizat în condițiile descrise mai înainte, compensînd probele aditivate cu uleiul dinaintea aditivării.

Concluzii

1. Readitivarea anticorosivă a uleiurilor aditivate, care, datorită condițiilor de funcționare, au devenit corosive, se poate realiza în timpul exploatării turbinei.

2. Fiecare readitivare se va realiza numai în urma testelor de laborator, cu ajutorul cărora se poate stabili concentrația optimă a componentei anticorosive, care, adăugată în ulei, conferă acestuia din nou proprietățile anticorosive inițiale sau chiar îmbunătățite.

3. Lucrarea arată că există posibilitatea determinării cantitative a unui aditiv anticorosiv prin spectroscopia de absorbție în I.R., fapt ce permite corelarea corectă dintre proprietățile anticorosive și principalele teste de performanță aplicate uleiurilor aditivate în exploatarea turboagregatelor.

4. Rezultatele experimentale sînt valabile pentru anumite uleiuri și aditivul anticorosiv L.859 și, odată cu schimbarea condițiilor de mai sus, lucrarea de față capătă o valoare orientativă și se impune adaptarea celor arătate la condițiile specifice create de diferite situații.

Susceptibilitatea uleiurilor la aditivarea anticorosivă funcție de gradul de oxidare și, respectiv, corelarea concentrațiilor aditivilor anticorosivi cu variațiile principalelor teste de performanță constituie, desigur, o problemă importantă și interesantă, asupra căreia autorul va reveni cu o altă ocazie.

Bibliografie

[1] Studt, P. *Wirkung organischer Schwefelverbindungen als Antioxidantien in Kohlenwasserstoffen durch Radikalkettenabbruch.* În: Erdöl und Kohle — Erdgas — Petrochemie, 27, nr. 4, 1974.

[2] Gooss, W. *Criterii noi utilizate în aprecierea uleiurilor aditivate de turbină.* În: Construcția de mașini nr. 12, 1976.

[3] Mastin, R. G. *Practics for determining the expected life of used turbine oils.* Synopsis, The 24th ASLE annual meeting, Philadelphia, mai 1969.

[4] den Herder, M. J. și Bennett, H. O. *Long-life turbine oils for power generating equipment.* The 24th ASLE annual meeting, Philadelphia, mai 1969.

[5] Gooss, W. *Spectroscopia de absorbție în I.R. folosită ca metodă analitică în supravegherea uleiurilor aditivate de turbină fabricate în țară.* În: Energetica 24, nr. 6, 1976.

[6] Ford, J. F. *Lubricating oil additives, a chemist's eye view.* În: Journ. of Petroleum, 54, nr. 535, iulie 1968.

Funcționarea motorului asincron trifazat cu alimentarea în două faze

Ing. **L. Canciu**
Ing. **V. Dobre**
Ing. **N. Oprișiu** *)

Regimul anormal de funcționare în două faze a unui motor asincron trifazat poate surveni în urma arderii unei siguranțe din circuitul de alimentare, întreruperii unui conductor în exteriorul sau interiorul motorului sau nefuncționării unui pol al întrerupătorului. Acest regim conduce la creșterea curentului absorbit de motor, putîndu-se ajunge la arderea motorului. De asemenea scade rezerva de stabilitate statică și dinamică a motorului, o mică perturbație putînd conduce la oprirea sa. Motorul oprit, cuplat la rețeaua de alimentare în două faze, nu dezvoltă cuplu de pornire.

Există diferite metode de semnalizare a funcționării motorului asincron trifazat în două faze. Una dintre ele se va studia în cadrul articolului de față. De asemenea se va studia regimul de funcționare a motorului alimentat în două faze folosind metoda componentelor simetrice.

1. Studiul unei metode de protecție a motorului cu alimentarea în două faze

În figura 1 s-a considerat un motor asincron de joasă tensiune MA, cuplat la transformatorul de alimentare TA prin intermediul unui întrerupător. La bornele motorului este cuplată o sarcină trifazată simetrică cu legătură în stea, alcătuită din trei condensatoare cu

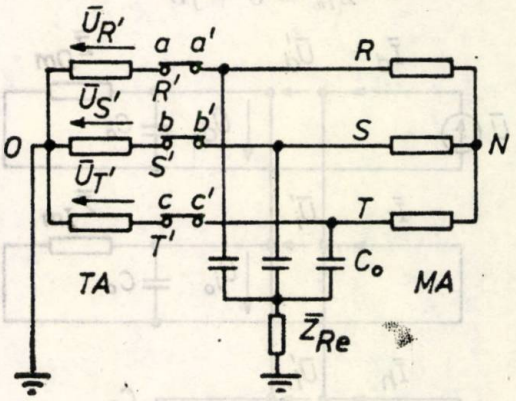


Fig. 1

capacitatea C_0. Nulul stelei astfel formate este legat la pămînt prin intermediul unui releu de curent cu impedanța $\bar{Z}_{Re}$. Deschizînd contactul $a - a'$, se pot scrie următoarele relații:

$$\bar{U}_{b-b'} = \bar{U}_{c-c'} = 0\,;\ \bar{I}_R = 0$$

Tensiunile de secvență relativ la tensiunile între polii întrerupătorului vor fi:

$$\bar{U}'_d = \frac{1}{3}(\bar{U}_{a-a'} + a\bar{U}_{b-b'} + a^2\bar{U}_{c-c'})$$

$$\bar{U}'_i = \frac{1}{3}(\bar{U}_{a-a'} + a^2\bar{U}_{b-b'} + a\bar{U}_{c-c'})$$

*) Autorii lucrează la ICEMENERG.

$$\bar{U}'_h = \frac{1}{3}(\bar{U}_{a-a'} + \bar{U}_{b-b'} + \bar{U}_{c-c'})$$

Deci

$$\bar{U}'_d = \bar{U}'_i = \bar{U}'_h$$

Pentru curenții de secvență relativ la curenții prin transformator, se pot scrie următoarele relații :

$$\bar{I}_d = \frac{1}{3}(\bar{I}_R + a\bar{I}_S + a^2\bar{I}_T)$$

$$\bar{I}_i = \frac{1}{3}(\bar{I}_R + a^2\bar{I}_S + a\bar{I}_T)$$

$$\bar{I}_h = \frac{1}{3}(\bar{I}_R + \bar{I}_S + \bar{I}_T)$$

Deci :

$$\bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_h = 0$$

Din considerentele de mai sus rezultă modul de conectare a schemelor de secvență prezentat în figura 2. În această schemă s-au neglijat impedanțele de secvență ale transformatorului. Tensiunea $\bar{U}$ este tensiunea $\bar{U}_{R'}$ pe faza R' a transformatorului. $\bar{Z}_{Dm}$ și $\bar{Z}_{Im}$ reprezintă impedanțele de secvență directă, respectiv inversă, ale motorului, care se scriu sub forma

$$\bar{Z}_{Dm} = A + jB$$

$$\bar{Z}_{Im} = C + jD$$

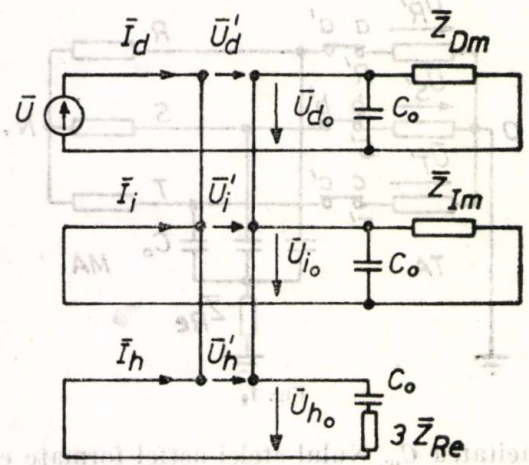


Fig. 2.

unde

$$A = R_S + X_S \frac{s \cdot m_{R_D} \cdot (1 - \sigma_{B_D})}{m^2_{R_D} + s^2}$$

$$B = X_S - X_S \frac{s^2(1 - \sigma_{B_D})}{m^2_{R_D} + s^2}$$

$$C = R_S + X_S \frac{(2 - s)\, m_{R_I} \cdot (1 - \sigma_{B_I})}{m^2_{R_I} + (2 - s)^2}$$

$$D = X_S - X_S \frac{(2 - s)^2 (1 - \sigma_{B_I})}{m^2_{R_I} + (2 - s)^2}$$

$$m_{R_D} = \frac{R_{R_D}}{X_{R_D}}\ ;\quad m_{R_I} = \frac{R_{R_I}}{X_{R_I}}\ ;\quad \sigma_{B_D} = 1 - \frac{X^2_m}{X_S X_{R_D}}\ ;\quad \sigma_{B_I} = 1 - \frac{X^2_m}{X_S X_{R_I}}$$

Pe baza schemei din figura 2 se pot scrie expresiile pentru tensiunile de secvență relativ la tensiunile bornelor motorului față de pământ :

$$\bar{U}_{d0} = \bar{Z}'_d \bar{I}_d$$

$$\bar{U}_{i0} = \bar{Z}'_i \bar{I}_i$$

$$\bar{U}_{h0} = \bar{Z}'_h \bar{I}_h$$

Neglijînd impedanța releului de curent, impedanțele de secvență sînt :

$$\bar{Z}'_d = \frac{\bar{Z}_{Dm}}{1 + j\omega C_0 \bar{Z}_{Dm}}\ ;\quad \bar{Z}'_i = \frac{\bar{Z}_{Im}}{1 + j\omega \cdot C_0 \bar{Z}_{Im}}\ ;$$

$$\bar{Z}'_h = \frac{1}{j\omega \cdot C_0}$$

Curenții de secvență vor avea expresiile :

$$\bar{I}_d = \bar{U} \frac{\bar{Z}'_i + \bar{Z}'_h}{\bar{Z}'_d\bar{Z}'_i + \bar{Z}'_d\bar{Z}'_h + \bar{Z}'_i\bar{Z}'_h}$$

$$\bar{I}_i = -\bar{U} \frac{\bar{Z}'_h}{\bar{Z}'_d\bar{Z}'_i + \bar{Z}'_d\bar{Z}'_h + \bar{Z}'_i\bar{Z}'_h}$$

$$\bar{I}_h = -\bar{U} \frac{\bar{Z}'_i}{\bar{Z}'_d\bar{Z}'_i + \bar{Z}'_d\bar{Z}'_h + \bar{Z}'_i\bar{Z}'_h}$$

În urma înlocuirilor rezultă pentru curentul homopolar expresia :

$$\bar{I}_h = -\bar{U} \frac{\alpha + j\beta}{\gamma - j\delta},$$

unde

$$\alpha = \omega C_0 \cdot (AC - BD) + D\ ;\quad \beta = \omega \cdot C_0 \cdot (AD + BC) - C\ ;$$

$$\gamma = 3(AD + BC) - \frac{A + C}{\omega \cdot C_0}\ ;$$

$$\delta = 3(AC - BD) + \frac{B + D}{\omega \cdot C_0}$$

Curentul prin releul de curent va avea expresia :

$$I_{Re} = 3U \sqrt{\frac{\alpha^2 + \beta^2}{\gamma^2 + \delta^2}}$$

În figura 3 s-a reprezentat variația curentului prin releu în funcție de alunecarea motorului, raportat la curentul prin releu la alune-

carea nominală a motorului, pentru un motor cu bare înalte.

În cazul în care reactanța capacitivă este mult mai mare ca impedanțele motorului, rezultă aproximațiile :

$$\alpha = D\,;\ \beta = -C\,;\ \gamma = -\frac{A+C}{\omega \cdot C_0}\,;\ \delta = \frac{B+D}{\omega \cdot C_0}$$

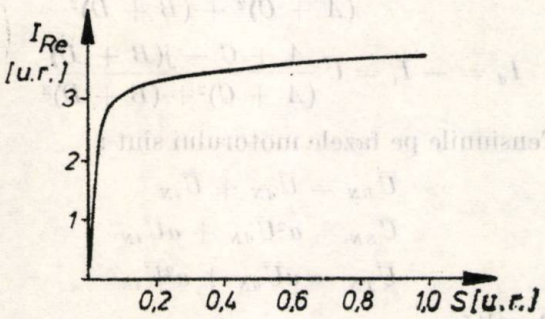


Fig. 3

Curentul va avea expresia :

$$I_{Re} = 3U \cdot \omega \cdot C_0 \sqrt{\frac{C^2 + D^2}{(A+C)^2 + (B+D)^2}} \qquad (1)$$

Din expresia curentului prin releu se observă că acesta depinde de parametrii motorului, de valoarea capacității și de alunecarea motorului. Pentru stabilirea valorii de reglaj a releului pentru protecția împotriva mersului în două faze, va trebui să se țină seama de cele de mai sus, în special de variația valorii curentului cu alunecarea motorului.

2. Expresiile tensiunilor bornelor motorului față de pământ

Acestea se pot deduce din tensiunile de secvență față de pământ stabilite în paragraful precedent prin trecere la limită cînd capacitatea devine zero.

Vor rezulta expresiile :

$$\bar{U}_{d0} = \bar{U}\,\frac{A^2 + B^2 + AC + BD + j(BC - AD)}{(A+C)^2 + (B+D)^2}$$

$$\bar{U}_{i0} = -\bar{U}\,\frac{C^2 + D^2 + AC + BD - j(BC - AD)}{(A+C)^2 + (B+D)^2}$$

$$\bar{U}_{h0} = -\bar{U}\,\frac{C^2 + D^2 + AC + BD - j(BC - AD)}{(A+C)^2 + (B+D)^2}$$

Tensiunile bornelor motorului față de pământ vor fi :

$$\bar{U}_{R0} = \bar{U}_{h0} + \bar{U}_{d0} + \bar{U}_{i0}$$

$$\bar{U}_{S0} = \bar{U}_{h0} + a^2\bar{U}_{d0} + a\bar{U}_{i0}$$

$$\bar{U}_{T0} = \bar{U}_{h0} + a\bar{U}_{d0} + a^2\bar{U}_{i0}$$

sau

$$\bar{U}_{R0} = \bar{U}(M + jN)$$

$$\bar{U}_{S0} = a^2\bar{U}$$

$$\bar{U}_{T0} = a\bar{U}$$

unde

$$M = \frac{A^2 + B^2 - 2C^2 - 2D^2 - AC - BD}{(A+C)^2 + (B+D)^2}$$

$$N = \frac{3(BC - AD)}{(A+C)^2 + (B+D)^2}$$

În figura 4 s-a reprezentat triunghiul echilateral $R'\ S'\ T'$ al tensiunilor simetrice ale transformatorului de alimentare și s-a ales un sistem de coordonate cu originea în punctul 0 al potențialului pământului și cu axa reală după tensiunea $\bar{U}_{R'0}$. S-a reprezentat locul geometric al potențialului fazei R a motorului în funcție de alunecare pentru un motor cu rotorul cu colivie simplă.

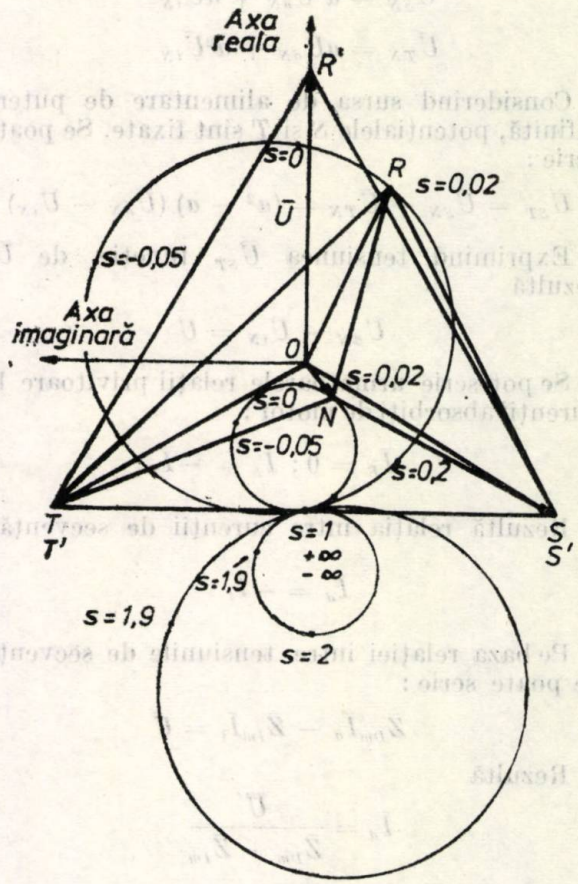


Fig. 4

Considerînd la bornele motorului conectată o stea simetrică formată din condensatoare de capacitate C_0, avînd punctul neutru legat la pământ, în cazul în care se pot neglija impedanțele de secvență ale motorului față de reactanța capacitivă, expresia curentului spre pământ,

egal cu de trei ori curentul homopolar, va fi :

$$\bar{I} = 3\bar{I}_h = 3\frac{\bar{U}_{h0}}{\frac{1}{j\cdot\omega\cdot C_0}}$$

$$I = 3U\cdot\omega\cdot C_0\frac{\sqrt{(C^2+D^2+AC+BD)^2+(BC-AD)^2}}{(A+C)^2+(B+D)^2}$$

Expresia este echivalentă cu expresia (1) a curentului prin releul de curent de la paragraful precedent.

3. Expresiile tensiunilor bornelor motorului față de punctul neutru N al motorului cu conexiune stea

Notînd tensiunile de secvență relativ la tensiunile bornelor motorului față de neutrul N cu $\bar{U}_{dN}$ și $\bar{U}_{iN}$, se pot scrie relațiile (tensiunea homopolară este nulă) :

$$\bar{U}_{SN} = a^2\bar{U}_{dN} + a\bar{U}_{iN}$$

$$\bar{U}_{TN} = a\bar{U}_{dN} + a^2\bar{U}_{iN}$$

Considerînd sursa de alimentare de putere infinită, potențialele S și T sînt fixate. Se poate scrie :

$$\bar{U}_{ST} = \bar{U}_{SN} - \bar{U}_{TN} = (a^2 - a)(\bar{U}_{dN} - \bar{U}_{iN})$$

Exprimînd tensiunea $\bar{U}_{ST}$ funcție de $\bar{U}$, rezultă

$$\bar{U}_{dN} - \bar{U}_{iN} = \bar{U}$$

Se pot scrie următoarele relații privitoare la curenții absorbiți de motor ;

$$\bar{I}_R = 0\,;\ \bar{I}_S = -\bar{I}_T$$

Rezultă relația între curenții de secvență :

$$\bar{I}_d = -\bar{I}_i$$

Pe baza relației între tensiunile de secvență se poate scrie :

$$\bar{Z}_{Dm}\bar{I}_d - \bar{Z}_{Im}\bar{I}_i = \bar{U}$$

Rezultă

$$\bar{I}_d = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}_{Dm} + \bar{Z}_{Im}}$$

Deci tensiunile de secvență vor fi

$$\bar{U}_{dN} = \bar{Z}_{Dm}\bar{I}_d = \bar{U}\frac{\bar{Z}_{Dm}}{\bar{Z}_{Dm} + \bar{Z}_{Im}}$$

$$\bar{U}_{iN} = \bar{Z}_{Im}\bar{I}_i = -\bar{U}\frac{\bar{Z}_{Im}}{\bar{Z}_{Dm} + \bar{Z}_{Im}}$$

Înlocuind impedanțele de secvență ale motorului cu expresiile lor funcție de parametrii motorului, rezultă :

$$\bar{U}_{dN} = \bar{U}\frac{A^2 + B^2 + AC + BD + j(BC - AD)}{(A + C)^2 + (B + D)^2}$$

$$\bar{U}_{iN} = -\bar{U}\frac{C^2 + D^2 + AC + BD - j(BC - AD)}{(A + C)^2 + (B + D)^2}$$

$$\bar{I}_d = -\bar{I}_i = \bar{U}\frac{A + C - j(B + D)}{(A + C)^2 + (B + D)^2}$$

Tensiunile pe fazele motorului sînt :

$$\bar{U}_{RN} = \bar{U}_{dN} + \bar{U}_{iN}$$

$$\bar{U}_{SN} = a^2\bar{U}_{dN} + a\bar{U}_{iN}$$

$$\bar{U}_{TN} = a\bar{U}_{dN} + a^2\bar{U}_{iN}$$

Rezultă :

$$\bar{U}_{RN} = \frac{1}{3}\bar{U}((2M + 1) + j2N)$$

$$\bar{U}_{SN} = -\frac{1}{3}\bar{U}\left(\left(M + \frac{1}{2}\right) + j\left(N + \frac{3\sqrt{3}}{2}\right)\right)$$

$$\bar{U}_{TN} = -\frac{1}{3}\bar{U}\left(\left(M + \frac{1}{2}\right) + j\left(N - \frac{3\sqrt{3}}{2}\right)\right)$$

Tensiunea neutrului față de pămînt este :

$$\bar{U}_{N0} = -\bar{U}_{RN} + \bar{U}_{R0} = -\bar{U}_{SN} + \bar{U}_{S0} = -\bar{U}_{TN} + \bar{U}_{T0}$$

Rezultă :

$$\bar{U}_{N0} = \frac{1}{3}\bar{U}((M - 1) + jN)$$

În figura 4 s-au reprezentat tensiunile pe fazele motorului și deplasarea punctului neutru pentru un motor cu colivie simplă.

Se poate verifica ușor că tensiunile pe cele trei faze ale motorului sînt orientate în cadrul triunghiului RST după medianele triunghiului. De asemenea, avînd o stea simetrică conectată la bornele motorului, cînd se pot neglija impedanțele motorului față de impedanțele stelei, punctul neutru al stelei va avea potențialul N al neutrului motorului. (Se știe că, avînd un sistem oarecare de tensiuni de linie, tensiunile pe fazele unei stele simetrice, cu neutrul izolat de neutrul sursei de alimentare, se orientează în cadrul triunghiului oarecare al tensiunilor de linie după mediane.)

Curentul absorbit de motor este :

$$\bar{I}_S = -\bar{I}_T = a^2\bar{I}_d + a\bar{I}_i = -j\sqrt{3}\bar{I}_d$$

$$\bar{I}_S = -\sqrt{3}\bar{U}\frac{B + D + j(A + C)}{(A + C)^2 + (B + D)^2}$$

În figura 5 s-au reprezentat, în funcție de alunecare, curenții statorici pentru regimul

trifazat simetric și regimul în două faze pentru un motor cu colivie simplă. Se observă că pentru alunecare 1 curentul bifazat este $\sqrt{3}/2$ din curentul trifazat. De asemenea și pentru alunecări sub 1 există aproximativ acest raport. Pentru alunecări mici curentul bifazat depășește curentul trifazat.

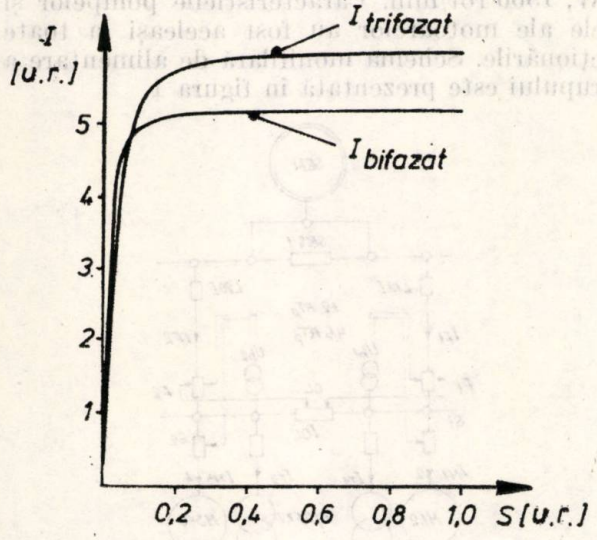


Fig. 5.

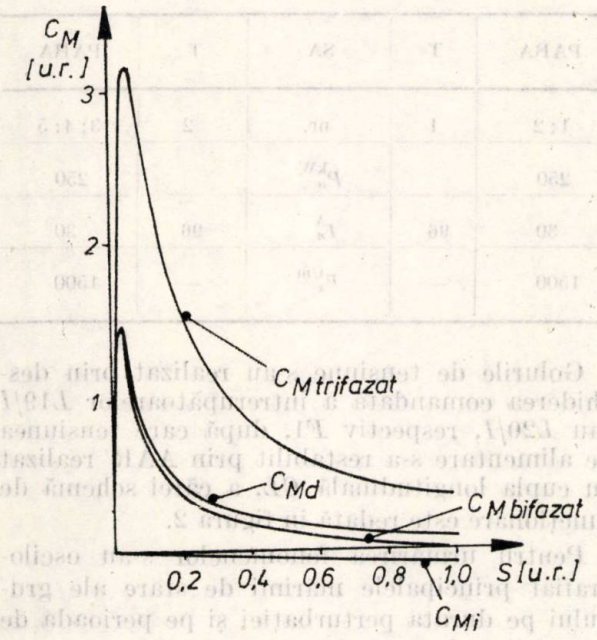


Fig. 6.

În figura 6 s-au reprezentat, pentru un motor asincron cu colivie simplă, cuplul trifazat și cuplul bifazat, în funcție de alunecare. Cuplul bifazat rezultă prin însumarea algebrică dintre cuplul direct și cuplul invers. Cuplul direct și cuplul invers au expresiile :

$$C_{Md} = \frac{3pU_{dN}^2}{\omega} \cdot \frac{A - R_S}{Z_{Dm}^2}$$

$$C_{Mi} = -\frac{3pU_{iN}^2}{\omega} \cdot \frac{C - R_S}{Z_{Im}^2}$$

Se observă că motorul care rămîne alimentat în două faze nu își schimbă sensibil turația, dar rezerva sa de stabilitate statică și dinamică scade considerabil.

Concluzii

Motorul asincron trifazat, care rămîne alimentat în două faze, va avea o tensiune indusă în faza rămasă fără alimentare, a cărei variație calitativă în funcție de alunecare este prezentată în figura 4. Locul geometric al potențialului bornei rămase fără alimentare, funcție de alunecare, depinde de parametrii motorului. De aceste lucruri trebuie ținut seama la schemele de protecție împotriva mersului în două faze care utilizează regimul asimetric ce apare la bornele motorului alimentat în două faze.

Motorul asincron trifazat alimentat în două faze nu prezintă cuplu de pornire, el putînd să tureze în ambele sensuri, funcție de impulsul inițial care i se dă. Curentul absorbit la alunecare 1 este $\sqrt{3}/2$ din curentul trifazat de pornire. Motorul rămas cu alimentarea în două faze nu își modifică sensibil turația, dar își scade considerabil rezerva de stabilitate statică și dinamică, putînd chiar să se oprească.

Bibliografie

[1] Antoniu, I. S. *Chestiuni speciale de electrotehnică.* Editura Academiei R.P.R., București, 1956.

[2] Mihăileanu, C. *Efecte de instabilitate dinamică ale golurilor de tensiune din nodurile de sarcină rezistivă, sincronă și asincronă, ale sistemelor electroenergetice.* Teză de doctorat, București, 1972.

Comportarea grupurilor de acționări electrice cu motoare asincrone la goluri de tensiune

Ing. **Gh. Ijac**, ing. **M. Beșa**, dr. ing. **D. M. Potlog**, ing. **V. Rugină**, ms. **S. Macarie**, ms. **T. Orza**, el. **A. Mărgineanu**, el. **Gh. Deac** *)

O pondere importantă în pierderile de resurse energetice din industrie o constituie cele care au loc cu ocazia perturbațiilor proceselor tehnologice provocate de golurile de tensiune în alimentarea cu energie electrică.

La anumite procese industriale, în special la cele cu funcționare continuă, aceste pierderi au loc mai ales la repornire. În aceste cazuri, duratele întreruperilor tehnologice sînt mai mari decît cele ale perturbațiilor de tip „gol de tensiune" și, în general, sînt însoțite de consumuri energetice ridicate (adesea apropiate ca valoare de cele din funcționarea normală).

Pe duratele repornirilor nu rezultă produse finite, iar semifabricatele unor faze tehnologice se pierd (fie prin eșapare în atmosferă, fie prin evacuare la canal), ele constituind pierderi de materii prime și energie înglobată, cît și surse suplimentare de poluare a mediului ambiant.

Ameliorarea caracteristicilor golurilor de tensiune și adoptarea de soluții pentru menținerea continuității în funcționare a sistemelor de acționări electrice la aceste perturbații constituie deci o cale importantă de combatere a pierderilor de energie și materii prime [1], [2], [4], [5]. [8].

În lucrarea de față se prezintă rezultatele unei serii de probe experimentale efectuate la unele grupuri de acționări cu motoare asincrone.

1. Comportarea în grup a sistemelor de acționare cu motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit, cu caracteristici și parametri identici

Sînt cunoscute o serie de studii privind comportarea individuală a acționărilor electrice la goluri de tensiune [1], [2], [3], [4], [6], care au utilizat fie cercetări experimentale, fie modelarea matematică.

În ceea ce privește investigarea experimentală a comportării grupurilor de acționări, aceasta este mai dificil de realizat în condiții industriale, și de aceea pînă în prezent a fost preferată calea modelării matematice.

Pe de altă parte, investigarea experimentală este necesară atît pentru verificarea cercetărilor teoretice, cît și din cauza varietății foarte mari a structurii și compoziției grupurilor a căror funcționare este afectată.

*) Dr. ing. Dorin M. Potlog și ing. Vasile Rugină sînt cercetători științifici la ICEMENERG; ing. Gh. Ijac, ing. Mircea Beșa, ms. Simion Macarie, ms. Teodor Orza, el. Aurel Mărgineanu și el. Gh. Deac lucrează la Combinatul de îngrășăminte AZOMUREȘ.

Într-o primă etapă a fost studiată experimental comportarea la pauze în alimentarea cu energie electrică a unui grup format din cinci pompe centrifugale acționate cu motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit, de 6 kV, 250 kW, 1500 rot/min. Caracteristicile pompelor și cele ale motoarelor au fost aceleași la toate acționările. Schema monifilară de alimentare a grupului este prezentată în figura 1.

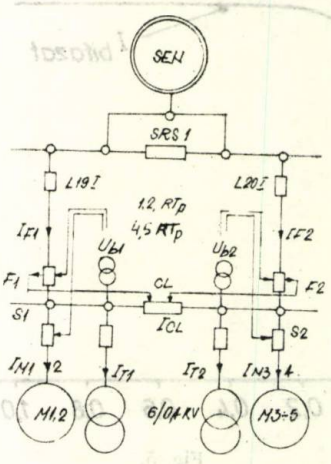


Fig. 1. Schema monofilară de alimentare a grupului de acționări cu caracteristici identice.

PARA	T	SA	T	PARA
1; 2	1	nr.	2	3; 4; 5
250		P_n^{kW}		250
30	96	I_n^A	96	30
1500	—	$n_s^{t/m}$	—	1500

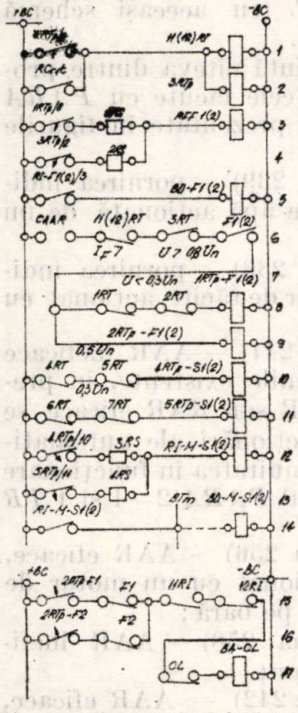
Golurile de tensiune s-au realizat prin deschiderea comandată a întrerupătoarelor $L19/I$ sau $L20/I$, respectiv $F1$, după care tensiunea de alimentare s-a restabilit prin AAR realizat cu cupla longitudinală CL, a cărei schemă de funcționare este redată în figura 2.

Pentru urmărirea fenomenelor s-au oscilografiat principalele mărimi de stare ale grupului pe durata perturbației și pe perioada de revenire.

Dintre oscilogramele ridicate la aceste probe se prezintă:

— în figura 3 (oscilograma 217) evoluția tensiunii de pe bara $S1$ (U_{b1}), a curentului de pe fiderul 2 (I_{F2}), a curenților de fază ai motoarelor $M1$ și $M2$ (I_{M1}, respectiv I_{M2}), a curentului prin cupla longitudinală (I_{CL}) și a celui absorbit de transformatorul $T1$ (I_{T1}) prin care se alimentează o serie de motoare de joasă tensiune, la o deschidere a întrerupătorului $L19/I$ și o realimentare prin cuplă;

— în figura 4 (oscilograma 221) evoluţiile principalelor mărimi pe durata unei dispariţii a tensiunii pe bara *S2* (realizată prin deconec-



Blocaj AAR la scurtcircuit pe bare şi în aval

Temporizarea şi automenţinerea protecţiei de scurtcircuit

Deconectarea întrerupătorului F1 prin minimă tensiune pentru AAR, respectiv prin protecţia de scurtcircuit

Comanda de deconectare a întrerupătorului F1

Condiţii de demarare AAR : — lipsă scurtcircuit în aval ; — prezenţă tensiune pe secţia de alimentare de rezervă

Temporizarea minimei tensiuni de demarare AAR

Limitarea duratei de intrare AAR

Protecţia de minimă tensiune motoare treapta I

Protecţia de minimă tensiune motoare treapta II, sau

Prescrierea curbei de aptitudine în trepte : treapta I şi treapta II

Barete de minimă tensiune şi comenzile de deconectare motoare

Limitarea duratei de intrare AAR şi blocaj AAR la scurtcircuit pe bare sau în aval

Comanda de conectare a cuplei longitudinale

Fig. 2. Schema principială a funcţionării instalaţiei de protecţie bazată pe minimă tensiune şi AAR la grupul de acţionări cu caracteristici identice.

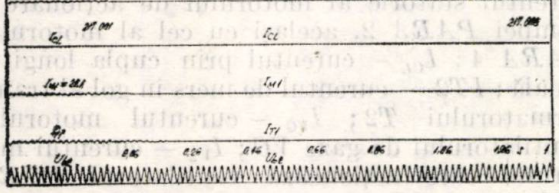


Fig. 3 a. Pauza de AAR la grupul format din motoarele M1 şi M2 (oscilograma 217).

Fig. 3 b. Autopornirea motoarelor M1 şi M2 (oscilograma 217).

tarea întrerupătorului *L20/I*) şi în perioada de restabilire a alimentării acestei bare prin cupla *CL* ;

— în figura 5 (oscilograma 213) fenomenele care apar la deconectarea întrerupătorului *F1* şi realimentarea prin *CL*.

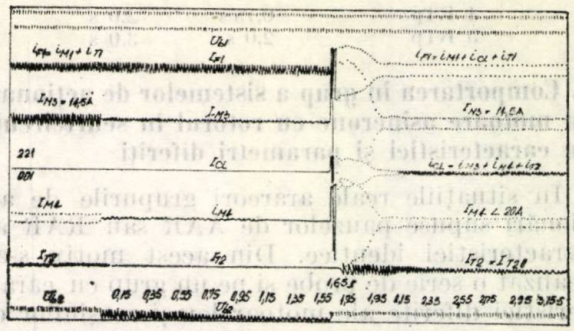


Fig. 4. AAR cu motoarele M3 şi M4 (oscilograma 221).

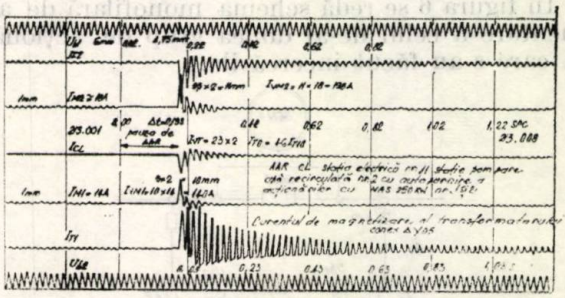


Fig. 5. AAR cu motoarele M1 şi M2 după deconectarea F1 (oscilograma 213).

Din analiza oscilogramelor prezentate rezultă următoarele concluzii :

— influenţa reciprocă a acţionărilor pe durata perturbaţiei este redusă. Acest lucru se datorează [3], [7] existenţei caracteristicilor practic identice ale acţionărilor ;

— tensiunea reziduală pe bara nealimentată scade relativ lent ;

— deşi temporizarea reglată a demarării AAR este mică (0,25 s), durata totală a perturbaţiei este mare comparativ cu cea reglată prin temporizare ;

— valorile supratranzitorii ale curenţilor de autopornire (exprimate în unităţi relative) sînt mari la golurile de tensiune de durate mai reduse, ele putînd conduce la acţionarea protecţiilor de scurtcircuit ;

— la grupul cercetat este preferabil să se aplice un AAR lent, demarat temporizat de protecţia de minimă tensiune de pe bara la care sînt racordate motoarele sau de pe fiderul de alimentare a acesteia ;

— protecţia de minimă tensiune individuală a motoarelor trebuie să aibă o temporizare suficient de mare (faţă de cea de demarare a AAR sau RAR), astfel încît să nu provoace deconectarea motoarelor la pauze în alimentare mai scurte de 3 s ;

— la grupul încercat au fost stabilite iniţial (ca urmare a cercetărilor pe baza modelării matematice) o serie de reglaje. În urma probelor efectuate s-a dovedit că rezultatele cercetărilor teoretice au fost prea pesimiste şi reglajele temporizărilor au fost mărite după cum urmează :

la releul	de la	la
1 RTp	0,25 s	1,0 s
2 RTp	0,35 s	0,5 s

4 RTp	0,75 s	2,0 s
5 RTp	2,0 s	3,0 s

2. Comportarea în grup a sistemelor de acționare cu motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit, cu caracteristici și parametri diferiți

În situațiile reale arareori grupurile de acționări supuse pauzelor de AAR sau RAR au caracteristici identice. Din acest motiv s-au realizat o serie de probe și pe un grup cu caracteristici diferite ale motoarelor și mașinilor de lucru.

În figura 6 se redă schema monofilară de alimentare a celui de-al doilea grup de acționări la care s-au făcut încercările.

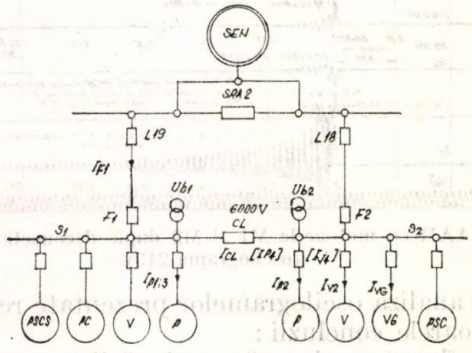


Fig. 6. Schema monofilară de alimentare a grupului de acționări cu caracteristici diferite.

PSCSS	PAC	VTR	PARA	SA	PARA	VTR	VG	PSCS
—	—	1; 3	1; 3	nr.	2;4;5	2; 4	—	—
800	850	320	1000	P_n^{kW}	1000	320	830	480
				6000	6000	6000	U^V	
				116,6	38,5	95	I^A	
				1000	320	830	P^{kW}	
				740	1485	992	$n^{t/min}$	
				0,87	0,90	0,88	cos φ	
				1,18	3,0	50	$t^s_{pornire}$	

Mașinile de lucru sînt pompe (*P*) și ventilatoare (*V*), toate avînd caracteristici mecanice de tip centrifugal, ele putîndu-se împărți în subgrupe cu parametri și caracteristici identice ca: pompele de apă nr. 1—5 (*PARA 1—5*), pompele de soluție (*PSCS* și cele *PSCSS*), ventilatoarele de răcire nr. *1—4* (*VTR 1—4*) și ventilatorul de gaze (*VG*). În cadrul fiecărei subgrupe, acționările sînt identice, dar există diferențe între subgrupe în ceea ce privește valoarea exponentului din expresia cuplului rezistent, a mediului vehiculat, a valorilor nominale și mai ales a valorilor momentelor de inerție. Momentele de inerție au valori crescătoare în ordinea *PARA — VTR — VG*.

Perturbațiile s-au realizat prin deschiderea întrerupătoarelor *L*18 și *L*19, după care tensiunea de alimentare s-a restabilit prin AAR cuplă longitudinală, *CL* (cu aceeași schemă ca și în cazul precedent).

În continuare se prezintă cîteva dintre probele efectuate, și anume cele făcute cu *PARA* 2—4, *VTR* 2—4 și *VG*, prezentate în figurile 7—13, astfel:

— fig. 7 (oscilograma 239) — pornirea individuală a unei pompe de apă acționată de un motor de 1000 kW;

— fig. 8 (oscilograma 236) — pornirea individuală a unui ventilator de răcire acționat cu un motor de 320 kW;

— fig. 9 (oscilograma 241) — AAR ineficace (spre deosebire de noțiunile existente, în prezentul material prin AAR sau RAR eficace se înțeleg numai acele funcționări ale automatizărilor care asigură continuitatea în funcționare a receptoarelor) cu grupul *PARA* 2—4 și *VTR* 2—4;

— fig. 10 (oscilograma 256) — AAR eficace, cu ventilatorul *VG*, acționat cu un motor de 830 kW, racordat singur pe bară;

— fig. 11 (oscilograma 258) — AAR ineficace, cu același ventilator;

— fig. 12 (oscilograma 242) — AAR eficace, cu grupul format din *PARA* 2—4 și *VTR* 2—4;

— fig. 13 (oscilograma 255) — AAR cu grupul construit din PARA 2—4, VTR 2—4,VG.

Pe oscilograme s-au înregistrat (în ordine de sus în jos) mărimile: U_{b2} — tensiunea secției *S*2 de bare; I_{F1} — curentul liniei *F*1; I_{P2} — curentul statoric al motorului de acționare a pompei *PARA* 2, același cu cel al motorului *PARA* 4; I_{CL} — curentul prin cupla longitudinală; $IT2$ — curentul de mers în gol al transformatorului *T*2; I_{VG} — curentul motorului ventilatorului de gaze *VG*; I_{V2} — curentul motorului care acționează ventilatorul *VTR*2, același cu cel corespunzător *VTR*4; U_{b1} — tensiunea pe secția de bare *S*1.

La proba redată în oscilograma 241, motoarele de acționare ale grupului încercat au fost deconectate prin protecția de minimă tensiune, datorită reglajului prea strîns al acesteia. După AAR a rămas în funcțiune pe rețeaua de apă (pe bara de refulare) numai pompa *PARA* 3, al cărei motor (racordat pe bara *S*1) nu a fost supus perturbației în alimentare. Motorul acesteia s-a supraîncărcat de la 120 A (înainte de AAR) la 182 A (după AAR). Supraîncărcarea (1,57 I_n) s-a datorat ieșirii bruște din fucțiune a celor două pompe cu care era în paralel pe refulare.

Acest fenomen se explică prin diferențele dintre constantele de timp electromecanice ale acționărilor și constantele de timp ale rețelei de apă.

Oscilograma 256 redă comportarea individuală a acționării *VG*, la care demararea AAR

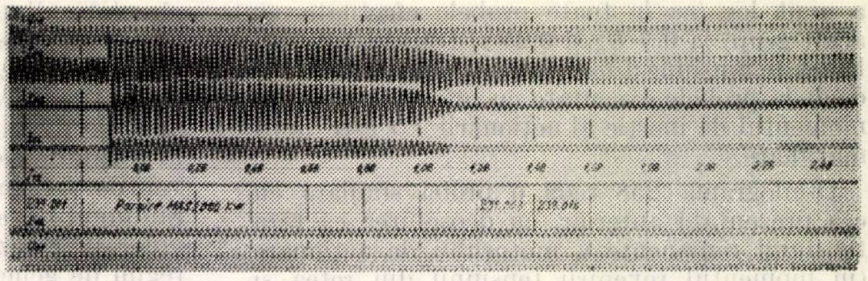


Fig. 7. Pornirea individuală a unei pompe acționate cu un motor de 1000 kW (oscilograma 239).

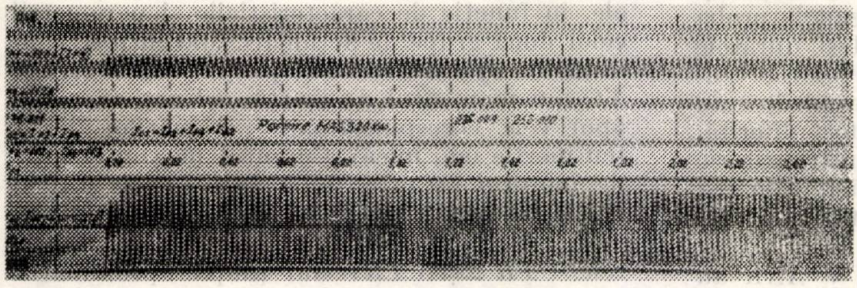


Fig. 8. Pornirea individuală a unui ventilator acționat cu un motor de 320 kW (oscilograma 236).

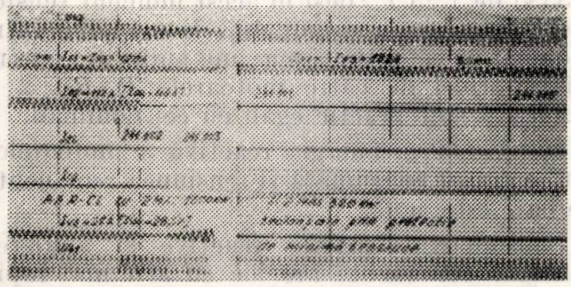


Fig. 9. AAR ineficace cu grupul PARA 2—4 și VTR 2—4 (oscilograma 241).

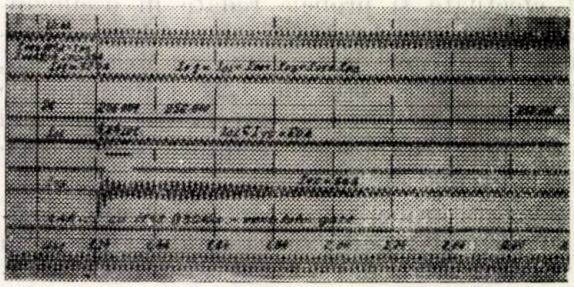


Fig. 10. Comportarea individuală la AAR a acționării VG (oscilograma 256).

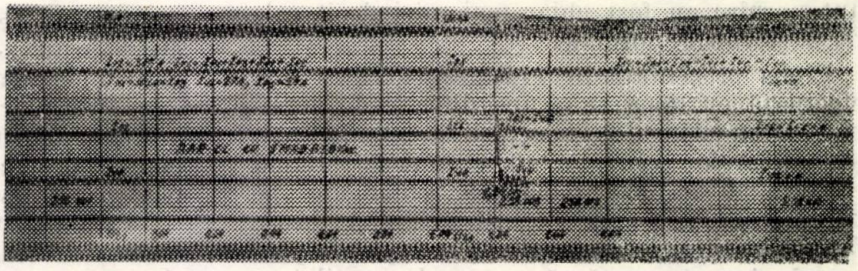


Fig. 11. AAR ineficace cu acționarea VG (oscilograma 258).

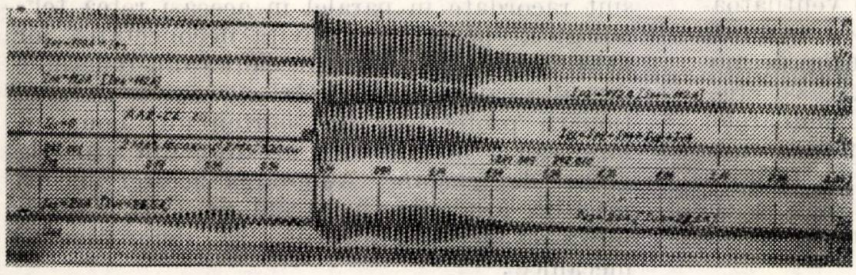


Fig. 12. Comportarea în grup la AAR a acționărilor PARA 2—4 și VTR 2—4 (oscilograma 242).

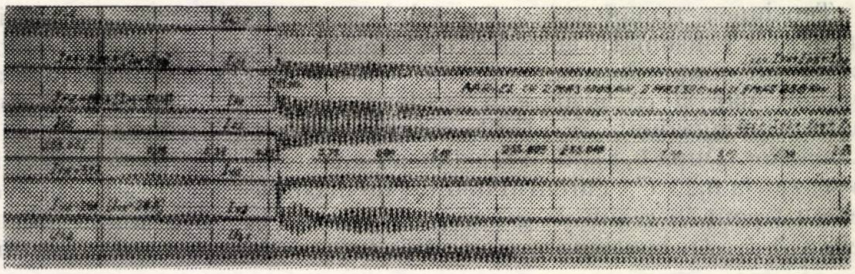


Fig. 13. Comportarea în grup la AAR a acționărilor PARA 2—4, VG și VTR 2—4 (oscilograma 243).

a avut loc (ca la toate probele efectuate cu acest grup) la 0,5 U_n și 0,25 s. Durata totală a lipsei de tensiune a fost de 1,24 s, deci mai mică decît la probele executate cu primul grup, deși momentul de inerție al acționării *VG* este mult mai mare.

Oscilograma 258 redă o probă similară cu cea prezentată anterior, cu deosebirea că faza tensiunii remanente a motorului de acționare (în momentul revenirii tensiunii din rețea și raportată la aceasta) a fost alta decît la proba precedentă. Din această cauză, deși duratele totale ale golurilor de tensiune și valorile tensiunii remanente (în momentul revenirii) erau aceleași, comportarea acționării a fost diferită.

La această probă, valoarea supratranzitorie a curentului de autopornire a depășit valoarea reglată a protecției de scurtcircuit și motorul a fost deconectat de la bare.

Cu aceleași reglaje de demarare a AAR au fost efectuate și probele redate în oscilogramele 242 și 255. La acestea însă, duratele totale ale golurilor de tensiune au fost de 0,7, respectiv 0,61 s, față de 1,24 s din probele individuale. Micșorarea apreciabilă a duratei se datorează influenței reciproce dintre cele două subgrupe de acționări.

La aceste probe, tensiunea remanentă a scăzut mult mai repede și s-a anulat practic în 0,5 s, respectiv în 0,3 s, iar la revenirea alimentării a fost nulă. Din această cauză și datorită faptului că motoarele se aflau la revenire la o turație diferită de zero, valorile curenților de autopornire au fost chiar mai mici decît cele de la pornirile normale.

Proba prezentată în oscilograma 242 a fost efectuată cu două subgrupe diferite de acționări. În momentul deconectării de rețea, curenții motoarelor scad, dar nu se anulează. Luînd ca origine de fază tensiunea remanentă pe bare, curenții I_{V2} și I_{V4} își schimbă brusc fazele, în timp ce curenții I_{P2} și I_{P4} și le păstrează. Aceasta arată că motoarele ventilatoarelor au trecut în regim de generator asincron, iar cele ale pompelor au rămas în regim de motor. Pe măsură ce acționările decelerează, crescînd diferența dintre alunecările motoarelor (din cauza diferențelor de parametri), cresc atît curenții debitați de motoarele ce frînează în regim de generator subsincron, cît și cei absorbiți de motoarele rămase în regim de motor.

Tensiunea remanentă a grupului scade ca urmare a consumării energiei reactive înmagazinate în cîmpurile magnetice ale tuturor mașinilor, dar și ca urmare a scăderii energiei active înmagazinate în părțile rotative ale acționărilor. După 0,4 s, deși tensiunea remanentă a scăzut la 0,25 U_n, curentul debitat de mașinile ce au trecut în regim de generator a crescut la circa 3 I_n. În continuare scad atît curenții de circulație dintre cele două categorii de mașini, cît și tensiunea remanentă a grupului.

Proba prezentată în oscilograma 255 s-a efectuat cu trei grupe diferite de acționări. În momentul deconectării alimentării trec brusc în regim de generator motoarele de acționare a ventilatoarelor (*VTR* și *VG*), cele ale pompelor rămînînd în regim de motor. Consumarea energiilor înmagazinate în mașinile ce frînează în regim de generator este defazată în timp între ele, în funcție de caracteristicile și parametrii celor două grupe de acționări. Mai întîi se consumă energia reactivă și parțial cea activă a *VG* (cu momentul de inerție cel mai mare) și apoi cele corespunzătoare acționărilor *VTR* (cu inerție mai mică). Curentul maxim debitat de motorul *VG* este (după aproximativ 0,19 s) de $2I_n$ și tensiunea remanentă a grupului de $0{,}5U_n$, iar curenții maximi debitați de motoarele *VTR* 2 și *VTR*4 sînt (după aproximativ 0,33 s) de 1,25 I_n, deși în acest moment tensiunea remanentă a scăzut deja la 0,18 U_n. Între momentele celor două maxime amintite, curenții absorbiți de către motoarele *PARA* 2 și *PARA* 4 sînt practic egali cu cei nominali.

După 0,39 s, energia reactivă a motoarelor este complet consumată și tensiunea remanentă pe bare este nulă.

Consumarea energiei reactive și anularea tensiunii remanente are loc cu atît mai rapid cu cît diferența dintre caracteristicile mecanice și valorile parametrilor acționărilor este mai mare.

În urma rezultatelor probelor efectuate cu acest grup s-au adoptat următoarele soluții pentru mărirea eficacității automaticii de AAR :

— s-au mărit diferențele dintre temporizările minimei tensiuni care demarează AAR și cele pentru protecțiile individuale ale motoarelor, pentru a se evita deconectările inutile ;

— s-a mărit reglajul protecției de suprasarcină a motoarelor ale căror mașini de lucru sînt racordate în paralel în aceeași rețea tehnologică, pentru a se evita deconectarea lor atunci cînd o parte dintre ele ies din funcțiune din alte cauze (deconectări ca urmare a funcționării protecțiilor de scurtcircuit, homopolare) sau a instabilității acestora din urmă la goluri de tensiune. Adoptarea acestei măsuri necesită prudență, în sensul de a nu insensibiliza exagerat protecțiile la deranjamente mecanice ;

— s-a mărit reglajul protecțiilor de scurtcircuit ale motoarelor de acționare care pot fi supuse singular la goluri de tensiune, pentru a putea trece peste aceste perturbații. La adoptarea măsurii trebuie ținut seamă de evitarea insensibilizării la scurtcircuite reale ;

— tot în eventualitatea funcționării singulare a unora dintre acționări, pentru a nu lungi durata perturbației, s-a reglat treapta infe-

rioară a protecției de minimă tensiune la $0{,}5U_n$. După cum reiese din oscilograme, acest reglaj satisface exigențele în cazul funcționării în grup.

În urma probelor menționate, ca o idee novatoare rezultă că, avînd în vedere că anumite procese industriale au aptitudinea de funcționare numai la goluri de tensiune scurte sau foarte scurte și faptul că pentru stabilitatea dinamică a acționărilor este recomandabil ca tensiunea remanentă în momentul realimentării să fie cît mai mică, ar fi utile procedee de stingere a cîmpurilor motoarelor ușor de realizat în condiții industriale (folosirea tuturor condițiilor existente). Unul dintre procedeele cel mai simplu și ușor de realizat constă în pornirea (chiar și în gol) a unei acționări al cărei motor este pe aceeași secție de bare și care în regim normal este în rezervă.

Pornirea acționării de rezervă trebuie să fie comandată de deconectarea întrerupătorului prin care se realizează separarea de rețea a grupului de motoare în funcțiune, eventual condiționat de micșorarea curentului pe linia de alimentare a barei pe care sînt racordate aceste motoare.

Acționarea de rezervă (în regimul său de pornire) va consuma energia reactivă înmagazinată în cîmpurile remanente ale motoarelor întregului grup, urmînd ca la reanclanșarea grupului la rețea (prin AAR sau RAR) să se realizeze condiția de limită a tensiunii remanente și deconectarea acestei acționări.

Într-o variantă a acestei soluții (dacă puterea sistemului în nodul respectiv al rețelei este suficientă), acționarea de rezervă va fi lăsată în funcțiune pentru a asigura continuitatea procesului tehnologic prin înlocuirea funcțiilor altei acționări, eventual oprită în timpul perturbației.

Acest procedeu se poate aplica și în cazul grupurilor formate din motoare asincrone și sincrone, precum și în cazul în care acționarea de rezervă este cu motor sincron cu pornire în regim asincron.

Bibliografie

[1] Mihăileanu, C. și col. *Efectele golurilor de tensiune asupra consumatorilor industriali. Comportarea principalelor acționări cu motoare sincrone și asincrone de la AZOMUREȘ.* Lucrare ICENERG – CIA AZOMUREȘ, 1969.

[2] Mihăileanu, C., Cepoiu, Gh. și col. *Efectele golurilor de tensiune asupra instalațiilor și utilajelor electrice ale combinatului CIA Tg.-Mureș.* Lucrare ICENERG, 1970.

[3] Mihăileanu, C., Cepoiu, Gh. și col. *Reducerea efectelor golurilor de tensiune asupra unor acționări ale CIC Tg.-Mureș.* Lucrare ICENERG, 1972.

[4] Mihăileanu, C. *Efecte de instabilitate ale golurilor de tensiune din nodurile cu sarcină rezistivă, asincronă și sincronă ale sistemelor electroenergetice.* Teză de doctorat, Institutul politehnic București, 1972.

[5] Mihăileanu, C., Ijac, Gh. și Potlog, D. M. *Combaterea pierderilor produse de efectele golurilor de tensiune.* Raport la simpozionul „Colaborarea tehnolog-energetician", Galați, 1976.

[6] Mihăileanu, C. și Potlog, D. M., *Goluri de tensiune în sisteme electroenergetice.* Editura tehnică, 1979.

[7] Ijac, Gh., Vulcu, I., Rugină, V. și Canciu, L. *Determinarea și utilizarea aptitudinii de funcționare a acționărilor electrice la goluri de tensiune.* Raport la colocviul național de acționări electrice, Iași, 1972.

[8] Potlog, D. M., Rugină, V., Cepoiu, Gh. și Ijac, Gh. *Cercetări pentru determinarea influenței golurilor de tensiune asupra funcționării motoarelor asincrone și sincrone de mare putere.* A VII-a Conferință internațională de energetică industrială, Kiev, 1972.

(Articol intrat în redacție la 30 septembrie 1980)

Considerații privind comportarea în exploatare a comutatoarelor de prize de tip liniar

Ing. D. Cernomazu *)

Considerații generale

Pentru menținerea aproximativ constantă a tensiunii secundare, în condițiile în care tensiunea primară a transformatorului variază, bobinajul de înaltă tensiune al transformatorului este realizat cu prize de $\pm 5\%$, care se schimbă cu ajutorul unui comutator, atunci cînd transformatorul este scos de sub tensiune. Domeniul de reglaj de $\pm 5\%$ din valoarea tensiunii nominale este utilizat, de regulă, la transformatoarele cu puteri medii cuprinse în gama 100—1600 kVA.

Comutatorul de prize de tip liniar (fig. 1 și 2) este realizat în principiu din două bare fixe din material electroizolant (pertinax), pe care sînt montate contactele fixe și între care se deplasează o a treia bară electroizolantă, mobilă, purtătoare a contactelor mobile și în legătură cu dispozitivul de acționare.

Dispozitivul de acționare a comutatorului este fixat pe capac și poate fi manevrat cu o cheie specială, care se livrează odată cu transformatorul.

Avantajul acestui tip de comutator, care se bucură de o largă utilizare, constă în simplitate și posibilitatea pe care o oferă de a utiliza în mod eficient spațiul interior al cuvei transformatorului, prin plasarea sa sub capac, între izolatoarele de înaltă și cele de joasă tensiune.

Marea simplitate a acestui tip de comutator reclamă însă o exigență sporită cu privire la

*) Ing. Dorel Cernomazu lucrează la Uzina de reparat transformatoare și aparataj electric Roman.

precizia de execuţie, montaj şi exploatare, care, dacă este ignorată, poate duce la avarierea parţială, uneori totală a transformatorului.

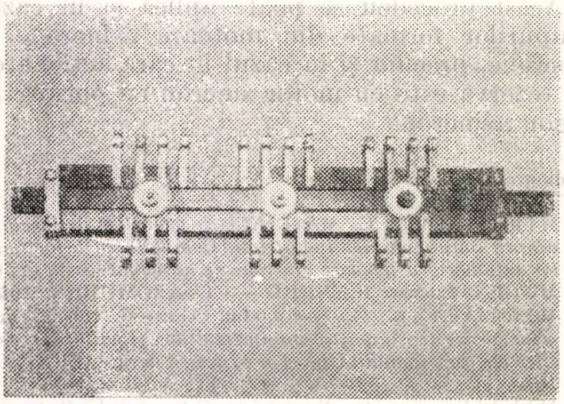


Fig. 1

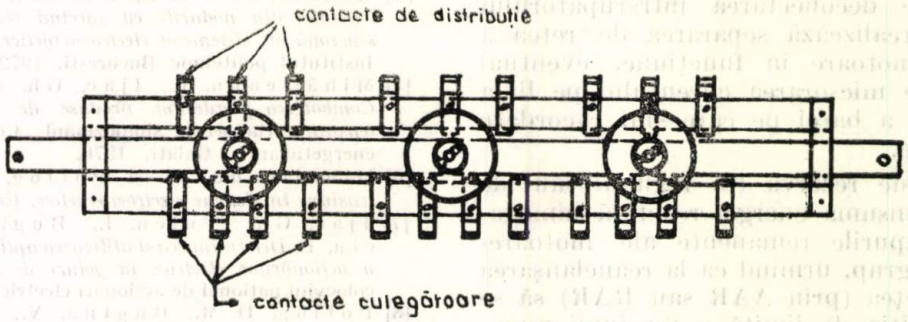


Fig. 2

Aspectele arătate mai sus constituie obiectul articolului de faţă, autorul încercînd să găsească şi să propună soluţii de perfecţionare a acestui tip de comutator.

Descrierea unuia dintre cele mai frecvente defecte

Defectele cele mai des întîlnite sînt provocate de poziţionarea imprecisă a contactelor mobile faţă de contactele fixe.

Frecvenţa mare a acestor defecte se explică prin faptul că acest tip de comutator impune o distanţă δ relativ mică între contactul mobil şi contactele fixe de distribuţie neimplicate în circuitul de curent. Distanţa δ (fig. 3) variază în limitele 3—8 mm, funcţie de puterea transformatorului şi tensiunea înfăşurării de înaltă tensiune a acestuia. Valoarea relativ mică a distanţei δ face ca anumite abateri provenite din execuţie sau exploatare, aparent nesemnificative, să contribuie substanţial la reducerea ei prin decalarea cu o valoare e_p a axului contactului mobil faţă de poziţia nominală (fig. 4), e_p reprezentînd eroarea de poziţionare a contactului mobil faţă de contactele fixe, fapt ce provoacă fie o atingere directă, fie un arc electric între contactul mobil şi contactul fix alăturat, neimplicat în circuit.

Ca urmare se produce punerea în scurtcircuit a unei porţiuni de bobinaj (fig. 5), avînd ca efect încălzirea puternică a spirelor, urmată de distrugerea termică a izolaţiei şi apariţia de scurtcircuite între spire, aşa cum se arată în figura 4. Evident, există posibilitatea ca avaria să se extindă la întreg bobinajul.

Influenţa erorii de poziţionare asupra variaţiei parametrului δ

În cele ce urmează se urmăreşte găsirea unei relaţii materiale care să exprime legătura dintre variaţia erorii de poziţionare e_p şi variaţia distanţei δ. În scopul arătat se apelează

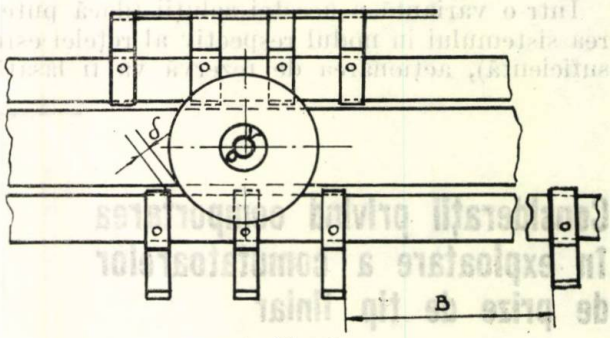


Fig. 3

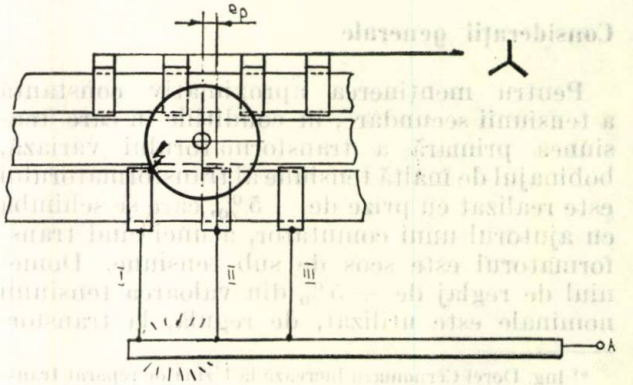


Fig. 4

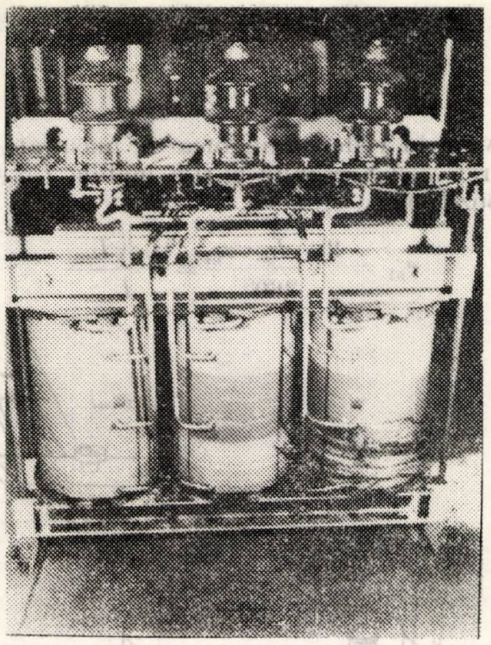


Fig. 5,

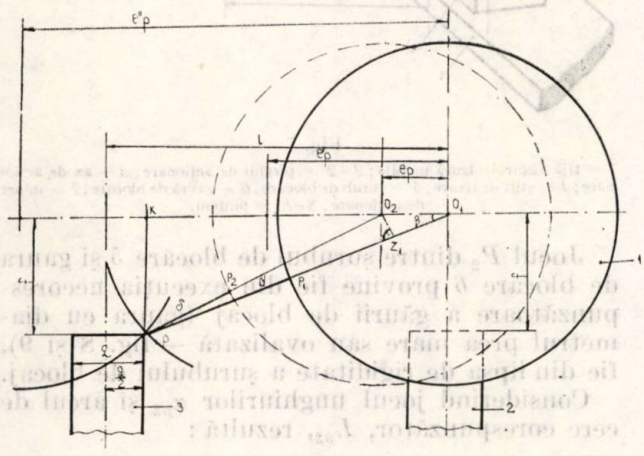


Fig. 6

la figura 6, unde notațiile au semnificațiile următoare :

$O_2P_2 = O_1P_1 = R$ — raza contactului mobil ;

$O_1O_2 = e_p$ — eroarea de poziționare ;

l — distanța dintre axele contactelor de distribuție ;

q — lățimea contactului de distribuție ;

$PP_1 = d$ — distanța dintre contactul de distribuție *3* și contactul mobil *1*, în situația în care $e_p = 0$;

$PP_2 = f(e_p)$ — distanța dintre contactul de distribuție *3* și contactul mobil *1* pentru $e_p = 0$;

$KP = f$ — distanța dintre contactul fix distribuitor și axa orizontală a contactului mobil.

Se consideră elemente cunoscute e_p, l, q, f, R.

Din triunghiul dreptunghic O_2PZ rezultă :

$$O_2P^2 = O_2Z_1^2 + PZ_1^2, \tag{1}$$

unde

$$O_2P = \delta + R$$

$$O_2Z_1 = e_p \cdot \sin \beta$$

$$PZ_1 = d + R - e_p \cos \beta,$$

care, înlocuite în relația (1), conduc la

$$(\delta + R)^2 = e_p^2 \cdot \sin^2\beta + (d + R - e_p \cos \beta)^2,$$

de unde rezultă :

$$\delta = \sqrt{e_p^2 \cdot \sin^2 \beta + (d + R - e_p \cdot \cos \beta)^2} - R \tag{2}$$

Din triunghiul dreptunghic O_1KP rezultă :

$$\cos \beta = \frac{KO_1}{O_1P} = \frac{l - \frac{q}{2}}{d + R} \tag{3}$$

$$d + R = \sqrt{f^2 + \left(l - \frac{q}{2}\right)^2} \tag{4}$$

Dezvoltînd relația (2) și substituind relațiile (3) și (4), rezultă :

$$\delta = \sqrt{f^2 - \left[e_p - \left(l - \frac{q}{2}\right)\right]^2} - R \tag{5}$$

Din analiza formulei (5) rezultă două cazuri extreme :

— cazul I — $\delta = d$ pentru $e_p = 0$ (6)

— cazul II — $\delta = 0$ pentru $e_p = max$ (7)

Se impune analiza ultimului caz, în scopul depistării factorilor de care depinde siguranța în exploatare a comutatorului.

Relația (5), ținînd seama de condiția (7), devine :

$$\sqrt{f^2 + \left[e_p - \left(l - \frac{q}{2}\right)\right]^2} - R = 0, \tag{8}$$

de unde, prin dezvoltare, rezultă o ecuație de gradul II, avînd ca necunoscută e_p :

$$e_p^2 - 2e_p\left(l - \frac{q}{2}\right) + \left(l - \frac{q}{2}\right)^2 + f^2 - R^2 = 0 \tag{9}$$

Rezolvarea ecuației conduce la următoarele soluții :

$$e_p' = \left(l - \frac{q}{2}\right) - \sqrt{R^2 - f^2} \tag{10}$$

$$e_p'' = \left(l - \frac{q}{2}\right) + \sqrt{R^2 - f^2} \tag{11}$$

Relaţiile (10) şi (11) reprezintă condiţiile de tangenţă a contactului mobil *1* cu contactul fix *3* în punctul *P*. Din cele două relaţii, doar prima prezintă interes practic în cazul de faţă.

Relaţia (11) exprimă condiţia de contact a punctului *P* cu conturul circular al contactului mobil *1* în cazul în care acest contur intersectează suprafaţa contactului *3*.

Examinînd relaţia (10), rezultă condiţiile de maxim pentru e'_p, care, în ultimă instanţă, exprimă condiţiile de securitate împotriva scurtcircuitului între contactele fixe neimplicate în circuit şi contactul mobil, după cum urmează :

— distanţa l dintre axele contactelor de distribuţie să fie cît mai mare ;

— lăţimea q aferentă contactelor de distribuţie să fie cît mai mică ;

— distanţa f dintre marginea contactului fix distribuitor şi axa orizontală aferentă contactului mobil să fie cît mai mare ;

— raza R aferentă contactului mobil să fie cît mai mică.

În alegerea valorii parametrilor enumeraţi intervin, cum este şi normal, o serie de limite. De exemplu, micşorarea parametrilor q şi R, precum şi mărirea lui f este limitată de necesitatea asigurării unui contact cît mai bun între contactele fixe şi mobile, în timp ce mărirea lui l este limitată de gabaritul transformatorului şi de necesitatea asigurării unei distanţe de izolaţie corespunzătoare între grupele de contacte aferente celor trei faze ale comutatorului.

Calculul erorii de poziţionare, e_p

Eroarea de poziţionare a contactelor mobile aferente comutatorului este datorată în mare măsură dispozitivului de acţionare (prezentat principial în figura 7) ca urmare a unor acţiuni perturbatoare care apar în diverse puncte ale acestuia, şi anume :

— perturbaţia P_1, reprezentată prin jocul dintre axul de acţionare *3* şi mînerul de acţionare *7* ;

— perturbaţia P_2, reprezentată prin jocul dintre şurubul de blocaj *5* şi gaura de blocaj *6*, sau prin jocul şurubului *5* în propriul locaş de fixare ;

— perturbaţia P_3, reprezentată de poziţia incorectă a găurilor de blocaj *6* ;

— perturbaţia P_4, reprezentată de jocul existent între găurile pîrghiilor de acţionare *2* şi *2'* şi pintenii *8* şi *8'*.

Perturbaţia P_1 poate proveni din alegerea necorespunzătoare a diametrului ştiftului *4* şi realizarea incorectă a operaţiei de nituire, cît şi în urma uzurii acestuia după un număr de acţionări, şi se materializează prin jocul unghiurilor α_{p1}.

Se notează cu L_{p1} arcul de cerc corespunzător unghiului α_{p1}, măsurat în centrul unui cerc cu raza L_m (fig. 7) ; rezultă :

$$\alpha_{p1} = \frac{L_{p1} \cdot 360^\circ}{2\pi \cdot L_m} \qquad (12)$$

Avînd în vedere lungimea L_k măsurată între reperele *3* şi *8*, rezultă la tija mobilă *1* o eroare de poziţionare e_{p1} :

$$e_{p1} = \frac{2\pi \cdot L_k \cdot \alpha_{p1}}{360^\circ} = \frac{L_k \cdot L_{p1}}{L_m} \qquad (13)$$

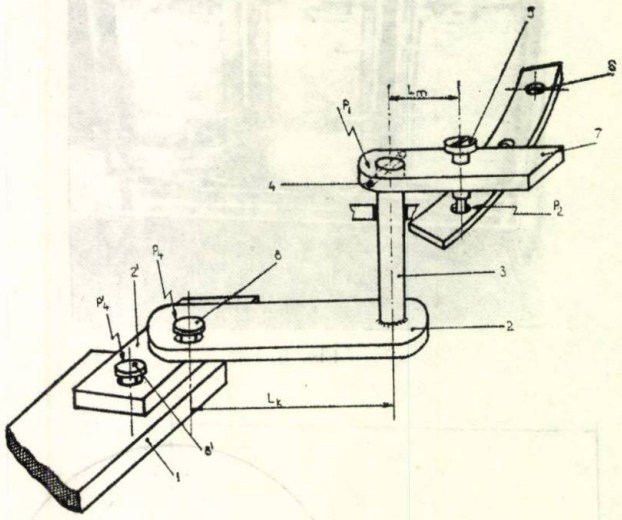


Fig. 7

1 — tijă electroizolantă mobilă ; *2—2'* — pîrghii de acţionare ; *3* — ax de acţionare ; *4* — ştift de fixare ; *5* — şurub de blocare ; *6* — gaură de blocare ; *7* — mîner de acţionare ; *8—8'* — pinteni.

Jocul P_2 dintre şurubul de blocare *5* şi gaura de blocare *6* provine fie din execuţia necorespunzătoare a găurii de blocaj (gaura cu diametrul prea mare sau ovalizată — fig. 8 şi 9), fie din lipsa de rigiditate a şurubului de blocaj.

Considerînd jocul unghiurilor α_{p2} şi arcul de cerc corespunzător, L_{p2}, rezultă :

$$\alpha_{p2} = \frac{L_{p2} \cdot 360^\circ}{2\pi \cdot L_m} \qquad (14)$$

Eroarea de poziţionare e_{p2}, cauzată de jocul unghiular α_{p2}, se calculează cu formula :

$$e_{p2} = \frac{2\pi \cdot L_K \cdot \alpha_{p2}}{360^\circ} = \frac{L_k \cdot L_{p2}}{L_m} \qquad (15)$$

Eroarea de poziţionare e_{p3}, cauzată de perturbaţia P_3 (fig. 10), este dată de relaţia :

$$e_{p3} = \frac{2\pi \cdot L_k \cdot \alpha_{p3}}{360^\circ} = \frac{L_k \cdot L_{p3}}{L_m} \qquad (16)$$

unde α_{p3} reprezintă eroarea unghiulară de poziţionare a găurii de blocaj, iar L_{p3} arcul de cerc corespunzător măsurat pe un cerc cu raza L_m. Eroarea de poziţionare e_{p4} este egală cu suma jocurilor dintre găurile pîrghiilor *2*, respectiv *2'*, şi pintenii de acţionare *8*, respectiv *8'*.

$$e_{p4} = L_{p4} + L'_{p4} \qquad (17$$

În formulele (13), (15), (16) și (17) s-a apelat la o aproximare, și anume : deplasările pîrghiei *2* corespunzătoare unghiurilor α_{p3}, α_{p1}, α_{p2}, ce reprezintă niște arcuri de cerc, au fost aproximate, cu segmente de dreaptă, reprezentate prin e_{p1}, e_{p2}, e_{p3}, fapt justificat prin valoarea mică a unghiurilor α_{p1}, α_{p2}, α_{p3}.

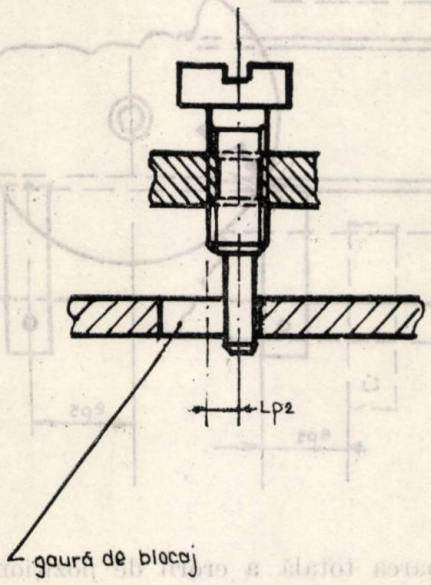


Fig. 8

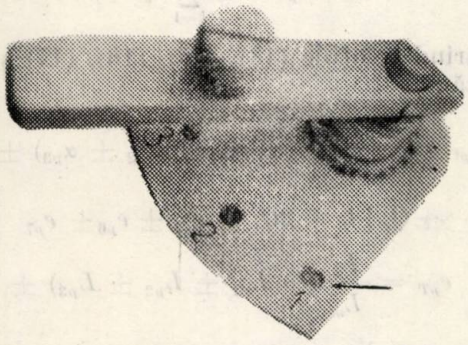


Fig. 9

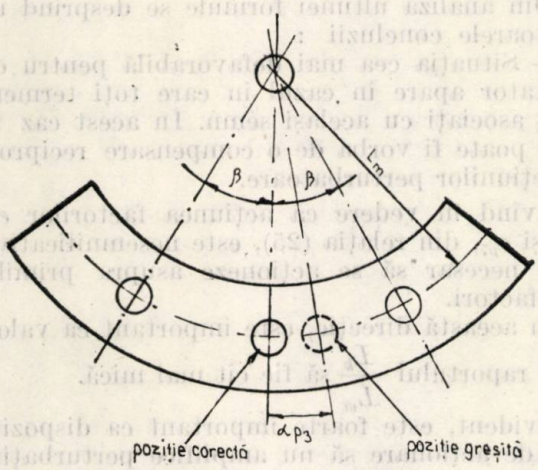


Fig. 10

În urma examinării unui număr relativ mare de comutatoare liniare a reieșit că o altă cauză care contribuie la majorarea erorii de poziționare o constituie execuția imprecisă a comutatorului (fig. 11), prin aceea că între suporturile electroizolante fixe și tija electroizolantă mobilă apare o distanță 01, care ajunge uneori pînă la 3—4 mm.

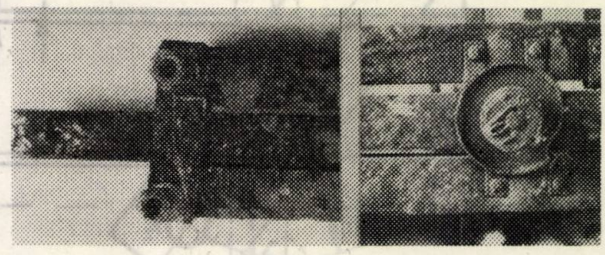


Fig. 11

Tijele electroizolante fixe *2* și *3*, precum și plăcile metalice *4* alcătuiesc un sistem articulat (fig. 12), care, în momentul fixării pe capacul transformatorului (datorită deformării suporturilor sau a găurilor de fixare), trece de la forma dreptunghiulară la cea de paralelogram (fig. 13), fapt ce atrage și deplasarea contactelor de distribuție față de poziția inițială, cu o valoare e_{p5}, reprezentînd eroarea de poziționare. Se caută, în cele ce urmează, relația matematică care să exprime valoarea erorii de poziționare e_{p5}, funcție de elementele constructive ale comutatorului, în care scop se apelează la construcția geometrică ajutătoare prezentată în figura 14. Luînd în considerare triunghiul dreptunghic P_1P_2K, rezultă din teorema înălțimii :

$$e_{p5}^2 = \Delta Q\,(2R - \Delta Q)\,;\; 2R = l \qquad (18)$$

$$e_{p5} = \sqrt{\Delta Q\,(l - \Delta Q)} \qquad (19)$$

$$\Delta Q = Q_i - Q_f$$

și, în cazul în care $Q_f = 0$, se obține eroarea maximă :

$$e_{p5\,max} = \sqrt{2Q_i^2 \cdot R} \qquad (20)$$

$$e_{p5\,max} = Q_i\sqrt{2R} = Q_i\sqrt{l} \qquad (21)$$

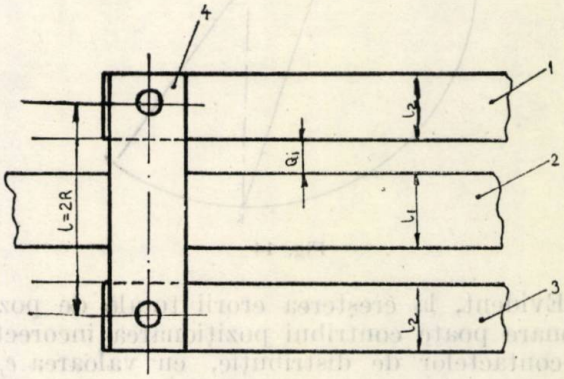


Fig. 12

1 — tijă electroizolantă mobilă; *2* și *3* — tije electroizolante fixe; *4* — placă metalică de fixare.

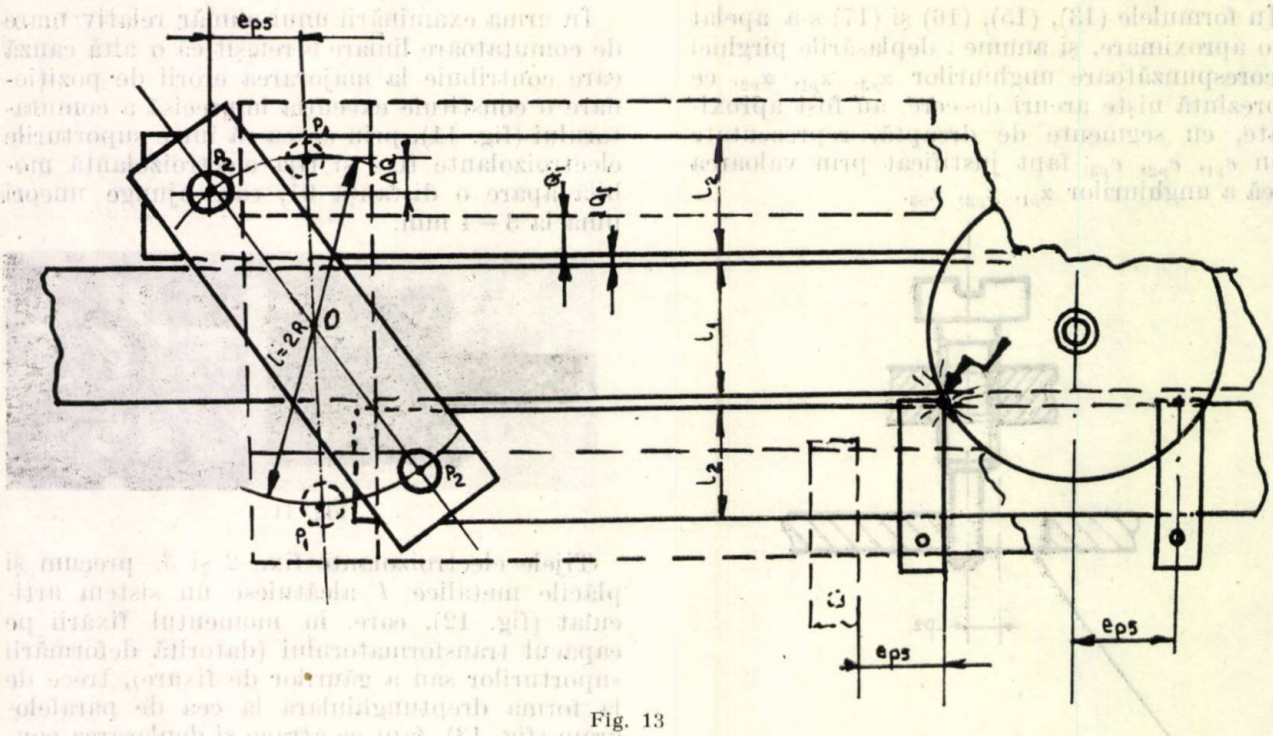


Fig. 13

Deoarece $l_i = l_1 + \frac{l_2}{2} + \frac{l_2}{2}$,

unde

l_1 este lățimea tijei electroizolante mobile;

l_2 — lățimea tijei electroizolante fixe,

rezultă :

$$l = l_i + 2Q_i,$$

de unde :

$$e_{p5\ max} = Q_i \sqrt{l_i + 2Q_i} \qquad (22)$$

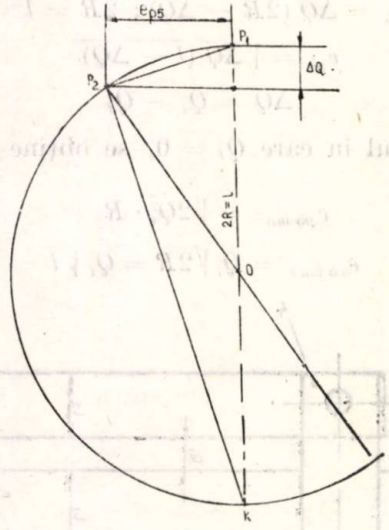


Fig. 14

Evident, la creșterea erorii totale de poziționare poate contribui poziționarea incorectă a contactelor de distribuție, cu valoarea e_{p6}, cît și poziționarea incorectă a contactelor mobile cu valoarea e_{p7} (erori de construcție).

Valoarea totală a erorii de poziționare e_{pT} este dată de relația :

$$e_p = \pm \sum_{k=1}^{n} e_k \qquad (23)$$

Urmărind relațiile (13), (15), (16), (17) și (22), rezultă :

$$e_{pt} = \frac{2\pi \cdot L_k}{360^\circ} (\pm \alpha_{p1} \pm \alpha_{p2} \pm \alpha_{p3}) \pm \pm Q_i \sqrt{l_t + 2Q_i} \pm e_{p4} \pm e_{p6} \pm e_{p7} \qquad (24)$$

$$e_{pT} = \frac{L_k}{L_m} (\pm L_{p1} \pm L_{p2} \pm L_{p3}) \pm \pm Q_i \sqrt{l_t + 2Q_i} \pm e_{p4} \pm e_{p6} \pm e_{p7} \qquad (25)$$

Din analiza ultimei formule se desprind următoarele concluzii :

— Situația cea mai defavorabilă pentru comutator apare în cazul în care toți termenii sînt asociați cu același semn. În acest caz nu mai poate fi vorba de o compensare reciprocă a acțiunilor perturbatoare.

Avînd în vedere că acțiunea factorilor e_{p4}, e_{p6} și e_{p7}, din relația (25), este nesemnificativă, este necesar să se acționeze asupra primilor doi factori.

În această direcție, este important ca valoarea raportului $\frac{L_k}{L_m}$ să fie cît mai mică.

Evident, este foarte important ca dispozitivul de acționare să nu amplifice perturbațiile ce apar în circuitul de execuție, fapt posibil

cînd dispozitivul de acționare nu acționează ca un element amplificator al mărimii de execuție. Cele arătate sînt exprimate matematic în următoarea relație :

$$\frac{L_k}{L_m} \leqslant 1 \qquad (26)$$

Condiția exprimată matematic poate fi realizată prin micșorarea parametrilor L_k și creșterea parametrului L_m.

Deoarece modificarea în sens descrescător a lui L_k este limitată de condiția asigurării cursei contactelor mobile, se preferă să se acționeze asupra măririi parametrului L_m.

Trebuie subliniat faptul că, în cazul transformatoarelor fabricate în țară, cu puteri pînă la 1600 kVA și echipament cu comutator liniar, valoarea raportului $\frac{L_k}{L_m} \geqslant 1$, $L_k = 65$ mm, $L_m = 28$ mm, $\frac{L_k}{L_m} = \frac{65}{28} = 2{,}32$, fapt ce constituie, evident, o deficiență a comutatoarelor ce se fabrică în prezent.

Concluzii

— Deși comutatorul liniar prezintă o construcție simplă, execuția și montajul său pe transformator reclamă precizie mare.

Partea constructivă cu ponderea cea mai mare în crearea erorii de poziționare o constituie sistemul de acționare a contactelor mobile, fapt pentru care se cere ca acesta să fie astfel conceput încît să nu lucreze ca un element amplificator al mărimii de execuție, ceea ce se exprimă prin condiția $\frac{L_k}{L_m} \leqslant 1$.

— Este necesară o bună rigidizare a suportului contactelor fixe, astfel încît cele două tije-suport, împreună cu plăcile metalice de fixare, să nu mai formeze un sistem articulat deformabil, fapt ce poate elimina astfel eroarea de poziționare e_{p5}.

— Poziționarea corectă a contactelor mobile ale comutatorului reprezintă rezultatul unui proces de reglare.

Trebuie subliniat însă că orice proces de reglare (chiar și manuală) implică acțiuni indispensabile, și anume : o acțiune de execuție și o acțiune de măsurare. Aceste acțiuni sînt obligatorii și în cazul de față.

În cazul transformatoarelor de fabricație românească, prevăzute cu comutator liniar, procesul de reglare poziționată a contactelor mobile este lipsit de posibilitatea observării poziției efective a acestora, singurul indiciu în această direcție constituindu-l poziția manetei de acționare a tijei mobile.

Față de cele arătate se impune a face posibilă acțiunea de măsurare a poziției efective a contactelor mobile prin marcarea unui reper fix pe una din tijele electroizolante fixe și a trei repere corespunzătoare celor trei ploturi pe tija electroizolantă mobilă, precum și montarea unui vizor prin care să poată fi urmărită coincidența dintre reperul fix și cele mobile.

Bibliografie

[1] Jezierski, E. ș.a. *Transformatoare electrice*. Editura tehnică, București, 1966.

[2] Farbman, S.A. și Bun, A. I. *Repararea și modernizarea transformatoarelor*. Editura tehnică, București, 1963.

[3] * * * *Catalog de transformatoare*. IEPC, 1073.

(Articol intrat în redacție la 6 mai 1980)

CRONICA

A VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din R. S. România

Sub egida Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor, a Ministerului Energiei Electrice, cu concursul întreprinderii de rețele electrice și al întreprinderii „Tractorul" — ambele din Brașov —, între 4 și 6 decembrie 1980 a avut loc la Brașov cea de-a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din R. S. România, cu tema: „Probleme actuale privind economisirea combustibililor și a energiei în instalațiile industriale."

Timp de trei zile, specialiștii prezenți la această consfătuire din unitățile de producere a energiei electrice și termice din subordinea Ministerului Energiei Electrice, din institutele de învățămînt superior, din institutele de cercetare și proiectare, din întreprinderi mari consumatoare de energie electrică și termică au analizat, la un înalt nivel științific, problemele prioritare, de mare actualitate ale termoenergeticii românești.

Cuvintele de salut și urările de succes pentru lucrările consfătuirii, rostite la ședința de deschidere, dintre care cele adresate în numele Comitetului municipal Brașov, au evidențiat importanța problemelor supuse dezbaterilor, în contextul tematicii termoenergeticii actuale, ca urmare a hotărîrilor de partid și de stat privind valorificarea superioară a combustibililor și a energiei.

În cadrul consfătuirii au fost prezentate și supuse dezbaterilor 59 de referate, repartizate pe trei secții:

Secția I: *Soluții de utilizare rațională a agenților energetici și a formelor neconvenționale de energie.*
Secția II: *Tehnologii, instalații și echipamente moderne cu consumuri reduse de combustibili și energie.*
Secția III: *Căi și mijloace de creștere a randamentelor energetice și a siguranței în exploatare.*

Consfătuirea a reunit circa 300 de participanți, iar pe marginea referatelor prezentate s-au înregistrat 90 luări de cuvînt, participanții manifestînd un viu interes pentru rezolvarea teoretică și practică a problemelor termoenergetice prezentate în discuții.

Cuvîntul de deschidere a fost rostit de prof. dr. ing. Nicolae Dănilă — Institutul Politehnic București — președintele Comisiei de termoenergetică din cadrul C.N.I.T., care a subliniat importanța problemelor înscrise în tematica celei de-a VIII-a Consfătuiri a termoenergeticienilor și a contactelor directe stabilite în cadrul dezbaterilor între participanți, ceea ce poate conduce la generalizarea propunerilor și rezultatelor valoroase în domeniul economisirii combustibililor și energiei.

Au fost de asemenea trecute în revistă sarcinile majore ce stau în fața specialiștilor din domeniul termoenergeticii, ce decurg din documentele Congresului al XII-lea al Partidului Comunist Român.

Profesor emerit Constantin Dinculescu, membru corespondent al Academiei R. S. Romînia, președinte de onoare al acestei consfătuiri, a condus lucrările adunării, împărtășind celor prezenți, din bogata sa experiență de termoenergetician, soluții și cunoștințe în abordarea problemelor dezbătute.

În cadrul Secției I au fost prezentate un număr de 28 referate, care au tratat probleme actuale ale utilizării raționale a agenților energetici și a formelor neconvenționale de energie, din dezbaterile acestora rezultînd următoarele aspecte:

— necesitatea studierii condițiilor și posibilităților de utilizare a reactorilor nucleari cu parametri termici scăzuți pentru producerea de căldură în scopuri industriale și pentru încălzirea locuințelor;

— intensificarea cercetărilor privind înlocuirea cu CO_2 a apei grele ca agent de răcire în reactorii nucleari de tip PHWR, ceea ce ar conduce la o mai bună utilizare a combustibilului nuclear prin creșterea gradului de ardere și a puterii unitare și ar permite o mai ușoară adaptare a acestor reactori pentru producerea de căldură;

— necesitatea perfecționării în continuare a schemelor și soluțiilor privind utilizarea energiei solare în scopuri de încălzire și de preparare a apei calde de consum și inițierea elaborării unor normative care să conducă la optimizarea soluțiilor adoptate;

— accentuarea activității de valorificare a energiei geotermale și abordarea unor activități intense pentru rezolvarea problemelor ridicate în prezent de gradul mare al depunerilor de săruri în instalații;

— valorificarea rațională a energiei eoliene prin implementarea unităților de puteri mici necesare localităților mici, izolate, și a unităților de puteri mari (1—10 MW) în zone cu condiții climatice adecvate, pe baza unor criterii care să permită optimizarea soluțiilor adoptate;

— continuarea cercetărilor și experimentărilor privind valorificarea resurselor energetice secundare prin utilizarea pompelor de căldură, urmărind perfecționarea și tipizarea unor soluții pentru diverse domenii de aplicare (în dezbateri s-a propus înlocuirea importului de freon cu izobutan ca agent de lucru);

— continuarea și lărgirea experimentărilor privind gazeificarea lignitilor de Rovinari, soluție de mare interes pentru energetica din țara noastră și urgentarea finalizării unor soluții tehnice cu largă aplicabilitate.

Dezbaterile care au avut loc pe baza celor 16 referate prezentate în cadrul Secției a II-a au subliniat:

— intensificarea preocupărilor pentru îmbunătățirea arzătoarelor pentru lignit, șist bituminos și deșeuri de huilă energetică și cele legate de realizarea cazanelor mici pentru apă fierbinte și abur bazate pe acești combustibili și folosind procedee avansate de ardere în pat fluidizat, respectiv de folosire a tuburilor termice pentru a corecta declanșarea arderii;

— necesitatea confruntării organizate a cercetărilor aplicative și experimentărilor efectuate de către diferite colective de specialiști cu privire la îmbunătățirea exploatării marilor unități energetice din Oltenia în domeniile extracției, preparării și arderii lignitului, a construcției echipamentelor și creșterea fiabilității acestora;

— continuarea cercetărilor și generalizarea rezultatelor ce vor fi obținute în domeniul optimizării funcționării sistemelor de termoficare prin creșterea eficienței surselor (de exemplu folosirea turbopompelor) și prin îmbunătățiri aduse în sistemul de transport, distribuție și consum al căldurii;

— intensificarea și corelarea tuturor preocupărilor privind introducerea de materiale noi în construcția rețelelor de termoficare care să conducă la economii de materiale deficitare și cu valoare mare de energie înglobată (de exemplu realizarea de vată minerală din zgură de furnal topită, folosirea spumelor poliuretanice ca izolație termică a conductelor, utilizarea conductelor nemetalice etc.).

Secția a III-a, în cele 15 referate și în dezbaterile pe marginea acestora, a scos în evidență:

— asigurarea unor condiții organizatorice corespunzătoare privind întărirea rolului energeticului-șef în marile unități industriale;

— necesitatea abordării problemelor mari ale recuperării resurselor energetice secundare din industrie printr-o strînsă colaborare între tehnologi și energeticieni și prin extinderea limitelor de valorificare în afara posibilităților de folosire în cadrul întreprinderilor;

— intensificarea schimbului de experiență între ramuri asupra rezultatelor valoroase obținute în întreprinderi, în scopul generalizării și aplicării imediate a schemelor și soluțiilor ce conduc la obținerea de economii de combustibil și energie;

— necesitatea revederii unor acte normative din domeniul încălzirii halelor industriale și a locuințelor pentru corelarea lor cu specificul funcționării sistemelor de termoficare și eliminarea pe această bază a neconcordanțelor ce apar între căldura livrată și necesarul real de căldură al consumatorilor;

— necesitatea unei mai bune informări și a unei eficiențe crescute în circulația informațiilor în domeniul energeticii, coloanele revistei „Energetica" fiind insuficiente pentru asigurarea schimbului de informații impus de valorificarea rapidă și pe scară largă a soluțiilor noi și a rezultatelor obținute în domeniul economisirii combustibilului și energiei.

*

În ansamblu, lucrările Consfătuirii a VIII-a a termoenergeticienilor au fost încadrate în efortul general generat de programul complex și multidisciplinar de utilizare mai rațională a tuturor formelor de energie, alcătuit în baza sarcinilor importante trasate energeticienilor din țara noastră decurgînd din documentele Congresului al XII-lea al Partidului Comunist Român, sarcini a căror rezolvare va contribui la atingerea obiectivului major stabilit pentru deceniul următor — asigurarea independenței energetice a țării noastre.

Comisia de termoenergetică din cadrul CNIT Președinte: prof. dr. ing. **N. Dănilă** — I.P.B.
Vicepreședinte: **ing. N. Niculescu** — ISPE

Lista referatelor

Secţia I — **Soluţii de utilizare raţională a agenţilor energetici şi a formelor neconvenţionale de energie**

1.1. I. Ursu, I. Purica, Al. Bădescu Singureanu şi L. Schächter (IFIN): Cercetări de fizică cu aplicabilitate potenţială în energetică. Conversia directă a energiei nucleare.

1.2. N. Dănilă, V. Muşatescu şi S. Dumitrescu (IPB): Posibilitate de valorificare energetică a apelor geotermale de la Băile Herculane.

1.3. V. Vulcu, V. Hoffmann ş.a. (Univ. Braşov): Contribuţii privind gazeificarea ligniţilor de Rovinari.

1.4. E. Şandru, I. Cohut şi I. Suciu (Inst. constr. Buc.): Aspecte ale utilizării apelor geotermale ca agent primar în schimbătoarele de căldură.

1.5. V. Athanasovici şi A. Badea (IPB): Aspecte ale utilizării pompelor de căldură ca recuperatoare de resurse energetice secundare şi integrarea lor în sistemele de alimentare cu căldură.

1.6. V. Athanasovici şi A. Badea (IPB): Cuptoare de tratamente termice şi foraje utilizînd combustibili clasici sau energie electrică.

1.7. D. Berbecaru şi I. Burchilă (IPCT): Soluţii tipizate de utilizare a apelor geotermale pentru încălzire şi pentru prepararea apei calde de consum.

1.8. A. Petrescu, M. Dumitrescu ş.a. (IPCT): Soluţii tipizate de utilizare a energiei solare pentru prepararea apei calde de consum la clădiri civile şi industriale.

1.9. R. Grigore, D. Berbecaru ş.a. (IPCT): Soluţii tipizate pentru folosirea apelor tehnologice din industrie pentru prepararea apei calde de consum cu ajutorul pompelor de căldură.

1.10. M. Boiciuc, I. Braga, M. Apostol şi A. Popescu (ICPIL): Utilizarea energiei solare şi a pompelor de căldură la uscarea lemnului.

1.11. C. Haiduc (ICSITEEMR): Cercetări privind recuperarea resurselor energetice secundare la unele din marile întreprinderi constructoare de maşini.

1.12. D. Mazilu, C. Negri şi I. Mituleasa (Inst. cerc. textile): Instalaţie convectoare solară pentru preîncălzirea apei destinate procesului tehnologic în secţia finisaj textil.

1.13. T. Berindei (Insp. teritorial Cluj-Napoca): Pompa de căldură cu izobutan.

1.14. N. Ruja (Insp. terit. Cluj-Napoca): Recuperarea parţială a căldurii gazelor de ardere de la cuptoarele de clincher, pentru preîncălzirea apei.

1.15. C. Boia (ICPMSN Cluj-Napoca): Recuperarea energiei secundare de la uscătoare şi evaporatoare.

1.16. Al. Chisacof (IPB): Sisteme de recuperare a căldurii din resursele energetice secundare de joasă temperatură cu pompe de căldură.

1.17. D. Prisacă (IITPIC) şi Al. Chisacof (IPB): Recuperarea căldurii de joasă temperatură în scopul producerii energiei mecanice.

1.18. R. Constantinescu (ICPIL): Recuperarea căldurii din gazele de ardere de la cazanele HLK 7/14 t/h prin utilizarea unui schimbător de căldură gaze-apă.

1.19. N. Niculescu, N. David, S. Lewy şi A. Bădulescu (ISPE): Soluţii privind utilizarea energiei solare în cadrul sistemelor de termoficare.

1.20. S. Florea (Inst. de fizică): Contribuţia acceleratoarelor de particule încărcate la rezolvarea problemelor energetice.

1.21. Gh. Luncă (Univ. Braşov): Consideraţii privind schemele de conversie a energiei vîntului în energie electrică.

1.22. Almási László (Univ. Braşov): Unele aspecte ale construcţiei turbinelor de vînt cu ax vertical.

1.23. Ilie Vlad (Univ. Braşov): Conversia energiei vîntului în alte forme de energie. Parametrii principali ai turbinelor de vînt.

1.24. Ilie Vlad (Univ. Braşov): Preocupări şi perspective în realizarea echipamentelor de conversie a energiei vîntului în alte forme de energie.

1.25. C. Moţoiu (IPB): Influenţa producţiei de energie electrică din surse solare asupra centralelor termoelectrice din sistemul energetic.

1.26. S. Râpeanu, P. Ilie ş.a. (IRNE): Implicaţiile fizicii nucleare în realizarea reactorilor rapizi.

1.27. L. Biro, V. Raica şi M. Isbăşescu (IRNE): Posibilităţi de mărire a puterii unitare a reactorului PHW—650.

1.28. C. Măciucă, V. Mirancea, T. Secară şi I. Purica (CIUEMMR): Implementarea programelor de asigurare a calităţii, condiţie primordială a participării industriei la realizarea de echipamente pentru CNE.

Secţia II — **Tehnologii, instalaţii şi echipamente moderne cu consumuri reduse de combustibili şi energie**

II. 1. M. Postelnicescu, N. Pănoiu ş.a. (IPB), D. Bicleşanu şi D. Rădulescu (ICSITEEMR): Cercetări asupra caracteristicilor arzătoarelor de praf cu combustibil solid, cu impact de jeturi (cu flacără plană).

II. 2. D. Fetcu, U. Antonescu şi Gh. Băcanu (Univ. Braşov): Grătare din bare cu tuburi termice — o nouă metodă de îmbunătăţire a randamentului de ardere în strat a combustibililor solizi inferiori.

II. 3. C. Neaga (IPB): Dimensionarea suprafeţelor de schimb de căldură ale ale unui cazan, montate în canale ecranate.

III. 4. L. Mihăescu (IPB): Caracteristicile arzătoarelor turbionare de combustibil solid praf, pentru cazane de mici dimensiuni.

II. 5. M. Jădăneanţ (Inst. pol. Timişoara): Studii şi cercetări experimentale asupra unor noi tipuri de umpluturi pentru turnurile de răcire.

II. 6. C. Cazacu (ICSITEEMR): Experimentări de ardere şi măcinare a lignitului pe cazanul de 1035 t/h.

II. 7. N. Niculescu, N. David şi C. Corcodel (ISPE): Contribuţii la optimizarea dimensionării reţelelor de termoficare.

II. 8. N. Niculescu, N. David şi I. Uţă (ISPE): Soluţii şi materiale noi pentru realizarea reţelelor de termoficare.

II. 9. M. Busuioc, G. Litvin şi V. Perlea (IPCT): Soluţii tipizate din centralele termice folosind combustibil solid cu capacităţi de pînă la 20 Gcal/h, pentru ansambluri urbane şi industriale.

II.10. T. Gherasim şi Gh. Tilea (CCPTB): Aspecte tehnice şi economice ale unei politici independente energetice în fabricaţia de ţevi la Întreprinderea de ţevi „Republica" Bucureşti.

II.11. R. Anastasiu (ICPMSN Cluj-Napoca): Reducerea consumului de energie termică al instalaţiilor de desprăfuire.

II.12. M. Mateescu şi M. Ştanta (ICECHIM): Eficienţa tehnico-economică a izolării termice cu spume poliuretanice.

II.13. Colectiv Catedra centrale electrice — IPB: Baza materială a Catedrei de centrale electrice în sprijinul dezvoltării energeticii româneşti.

II.14. C. Moţoiu, D. Tamaş, V. Cristescu şi M. Calotă (IPB): Cercetări privind funcţionarea turboagregatului de 2/3,2 MW montat la CET-Laborator IPB în aer liber.

II.15. C. Moţoiu, C. Ionescu şi Fl. Alexe (IPB): Turbopompe de alimentare în CET urbane cu unităţi de putere mare — fezabilitate, fiabilitate şi oportunitate.

II.16. S. Popescu (ICEMENERG): Aspecte privind îmbunătăţirea calităţii uleiurilor electroizolante prin aditivare.

Secţia III — **Căi şi mijloace de creştere a randamentelor energetice şi a siguranţei în exploatare**

III. 1. B. Popa, A. Chirilă ş.a. (Inst. pol. Cluj-Napoca): Aspecte legate de îmbunătăţirea randamentului termic la uscătoarele-tunel.

III. 2. L. Preda, J. Ignat şi F. Danciu (Inst. pol. Iaşi): Asupra posibilităţilor de insularizare a unor consumatori industriali ce au centrală electrică proprie echipată cu turbină cu contrapresiune.

III. 3. N. Niculescu, M. Voinea ş.a. (ISPE): Contribuţii la optimizarea funcţionării sistemelor de termoficare.

III. 4. R. Acrinei (IPJ Bacău): Căi de limitare a risipei de combustibili în execuţia şi exploatarea centralelor termice de cvartal.

III. 5. V. Aruxandrei şi G. Movileanu (IPJ Bacău): Încălzirea raţională a blocurilor de locuit din mediul rural.

III. 6. Fl. Ardeleanu (ICEMENERG) şi Al. Măruţă (ICB): Reducerea consumului de combustibil prin optimizarea funcţionării circuitelor de răcire din CTE.

III. 7. A. Gonciar, C. Florea şi I. Oprea (IE Brăila): Reducerea pierderilor de energie în procesul de pornire a blocului de 210 MW.

III. 8. A. Tudor şi M. Cazacu (IE Brăila): Folosirea calculatorului FELIX C 128 M pentru întocmirea raportului zilnic privind consumul propriu de energie electrică.

III. 9. A. Comes (IE Constanţa): Coroziunea preîncălzitoarelor de aer regenerative la cazanele generatoare de abur funcţionînd pe păcură cu conţinut ridicat de sulf.

III.10. I. Bucur şi Al. Mezin (Întrepr. „Tractorul" — Braşov): Realizări şi perspective în domeniul economisirii combustibililor şi energiei în centrala termică a Întreprinderii „Tractorul" — Braşov.

III.11. I. Grigoriu (IITPIC) şi Gh. Preda (ASE): Energetica în industria chimică şi biochimică.

III.12. D. Ştefănescu (IMA „Semănătoarea"): Creşterea eficienţei termoficării în instalaţiile de încălzire din industrie.

III.13. M. Popovici, M. Liţă şi G. Apetrei (ICEMENERG): Adaptarea sistemului de reglaj al turbinelor DSL 50 (VPT—50—3) pentru funcţionarea în regim de contrapresiune.

III.14. E. Gatman-Săndulescu, E. Antoniu şi A. Penu (ICEMENERG): Noi posibilităţi de urmărire a calităţii combustibililor inferiori.

III.15. V. Bălan şi A. Creţu (ICEMENERG): Ameliorarea calităţii şistului bituminos brut prin spălare în medii dense.

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din R.S. România. Redacţia: Bucureşti, Bd. Energeticienilor 8, Sectorul 3. Telefon: 20 67 30. Instituţiile pot achita abonamentele pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 3. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Preţul unui exemplar: 5 lei. Taxele poştale achitate conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/7914/1979

I. P. I. c. 1231

41 401

De la Comitetul național român pentru Conferința Mondială a Energiei

Prin scrisoarea circulară S5/3—2099, secretarul general al Conferinței Mondiale a Energiei, Eric Ruttley, informează comitetele naționale ale țărilor membre CME asupra publicațiilor editate de această organizație care pot fi solicitate, contra cost, atît de către instituții cît și de persoane particulare.

1. *Rapoartele celei de-a XI-a Conferințe Mondiale a Energiei*, 8—12 sept. 1980, München (10 volume), cu următorul conținut :

— vol. 1 A și B — Aprovizionarea cu energie	894 p. +	776 p.	78 DM
— vol 2 — Energia și societatea	595 p.		26 DM
— vol. 3 — Energia și mediul înconjurător	583 p.		26 DM
— vol. 4A și B — Energia, societatea și mediul înconjurător	575 p. +	362 p.	50 DM
— vol. G — Rapoartele generale	362 p.		20 DM
— vol. RT—A și RT—B — Rapoarte prezentate la mesele rotunde	628 p. +	544 p.	50 DM
— vol. WG — Rapoarte prezentate la grupele de lucru	528 p.		25 DM
— vol. M — Index de nume, subiecte, rapoarte	156 p.		

Comanda, însoțită de copia documentului de plată, la care se adaugă 20 % reprezentînd cheltuieli de transport poștal, se adresează la :

DNK der Weltenergiekonferenz
Graf-Recke-Strasse 84
D-4000 Düsseldorf, BRD

2. *Survey of Energy Resources — 1980* (în lb. engleză, franceză sau germană), 350 p., 14 tabele statistice, 19 planșe color, £ 25,00.

Această ultimă ediție a lucrării a fost elaborată și editată sub îndrumarea Consiliului consultativ și a Comisiei de conservare a CME, de către Institutul federal pentru științe geologice și resurse naturale din Hanovra (R.F.G.).

Cuprinsul lucrării :

1. Combustibili fosili solizi (cărbune, ligniți și turbă).
2. Hidrocarburi (petrol, gaze naturale, șisturi și nisipuri bituminoase).
3. Resurse nucleare (uraniu, thoriu).
4. Resurse energetice reînnoibile (energie geotermică, solară, eoliană, energia valurilor, biomasă, energie hidraulică etc.).

Anexe.

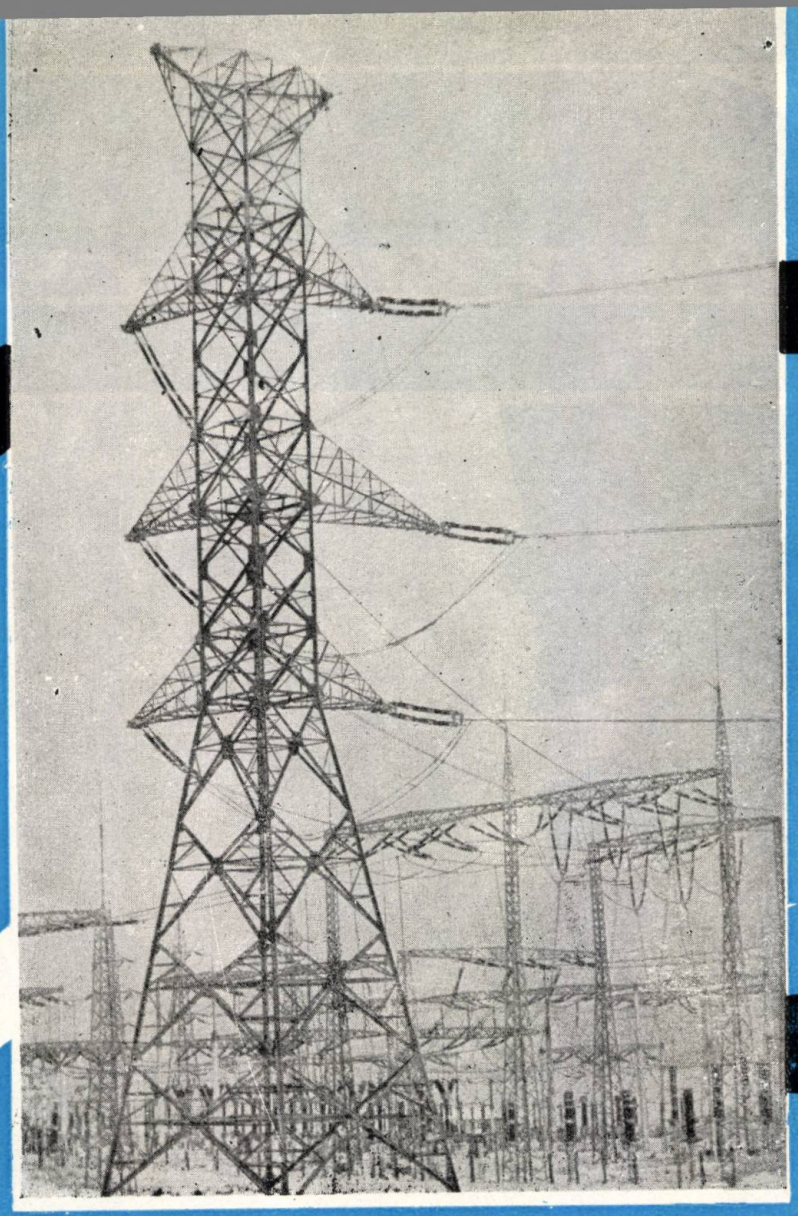
Comanda se adresează la :

Alan Armstrong and Associates Ltd.,
London Business School,
Sussex Place, Regents Park
London NW1 4SA, England

însoțită de copia documentului de plată în valoare de £ 25,00+20% (taxe poștale) efectuată către : Williams & Glyns Bank, Market Place, Reading, Berkshire, England. Cont nr. 11167567.

Alte lucrări, în limba engleză, ce pot fi comandate prin intermediul adresei de mai sus sînt :

Standard Terms of the Energy Economy	£ 34,50
Technical Data on Fuel (ed. a 7-a)	£ 32,00
World Energy Resources 1985—2020	£ 10,50
Oil and Gas Resources	£ 13,00
Nuclear Resources	£ 13,00
Coal Resources	£ 13,00
Renewable Energy Resources	£ 13,00
World Energy Demand	£ 13,00
World Energy : looking ahead to 2020	£ 13,75



IRE SUCEAVA

• Transportă şi distribuie, în cele mai bune condiţii tehnice, energie electrică pentru necesităţile industriei, transporturilor, agriculturii şi consumatorilor casnici din judeţele Suceava şi Botoşani.

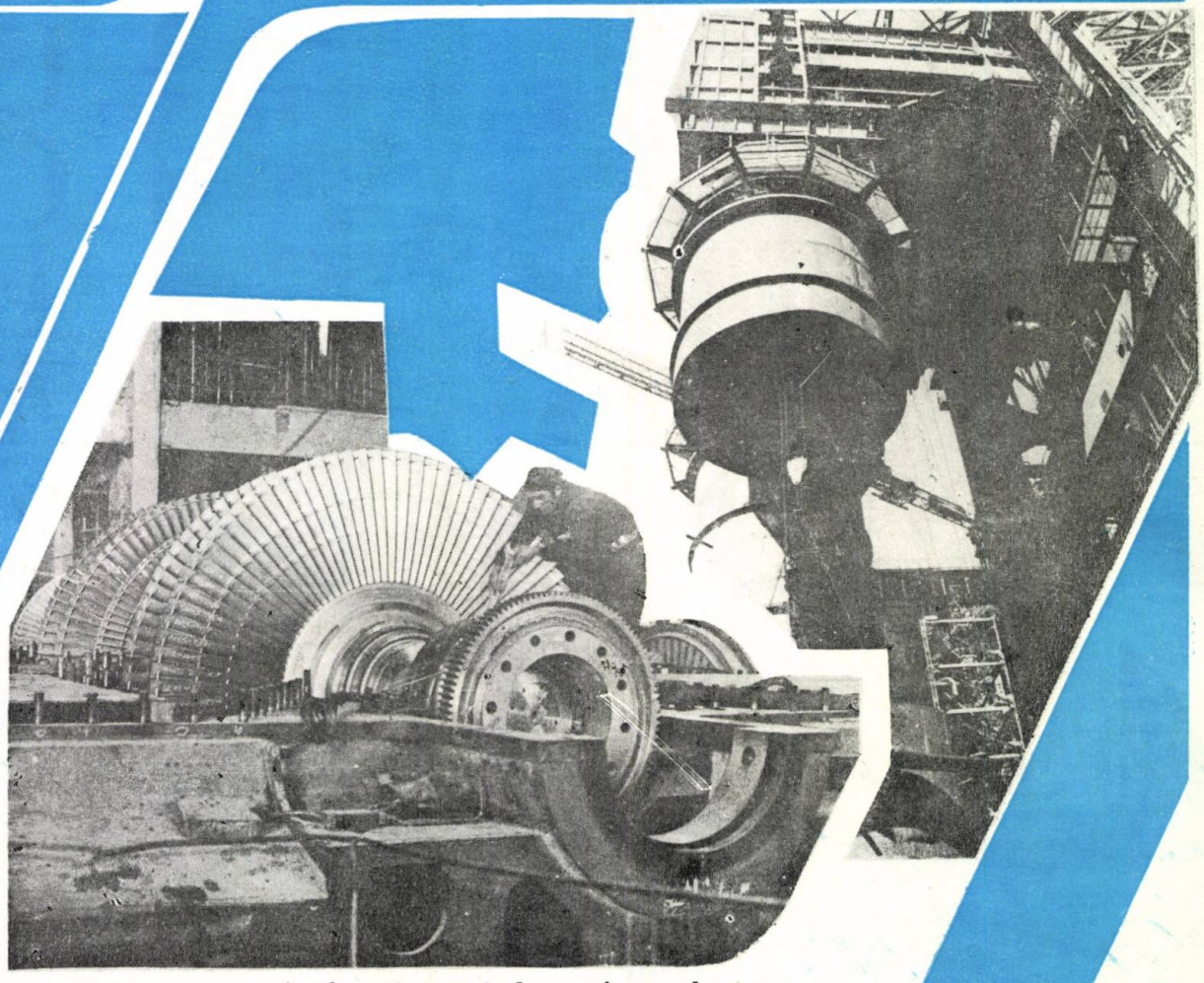
• Execută verificări pentru echipament electroenergetic, aparataj electric şi instalaţii de protecţie prin relee şi automatizări.

• Proiectează linii electrice cu tensiunea pînă la inclusiv 110 kV, staţii şi posturi de transformare, instalaţii electrice interioare şi microhidrocentrale.

• Construieşte reţele electrice de distribuţie, posturi de transformare, instalaţii electrice de iluminat public şi instalaţii electrice interioare.

ÎNTREPRINDEREA DE REŢELE ELECTRICE-SUCEAVA
Str. Ştefan cel Mare, nr. 24

TRUSTUL ENERGOMONTAJ



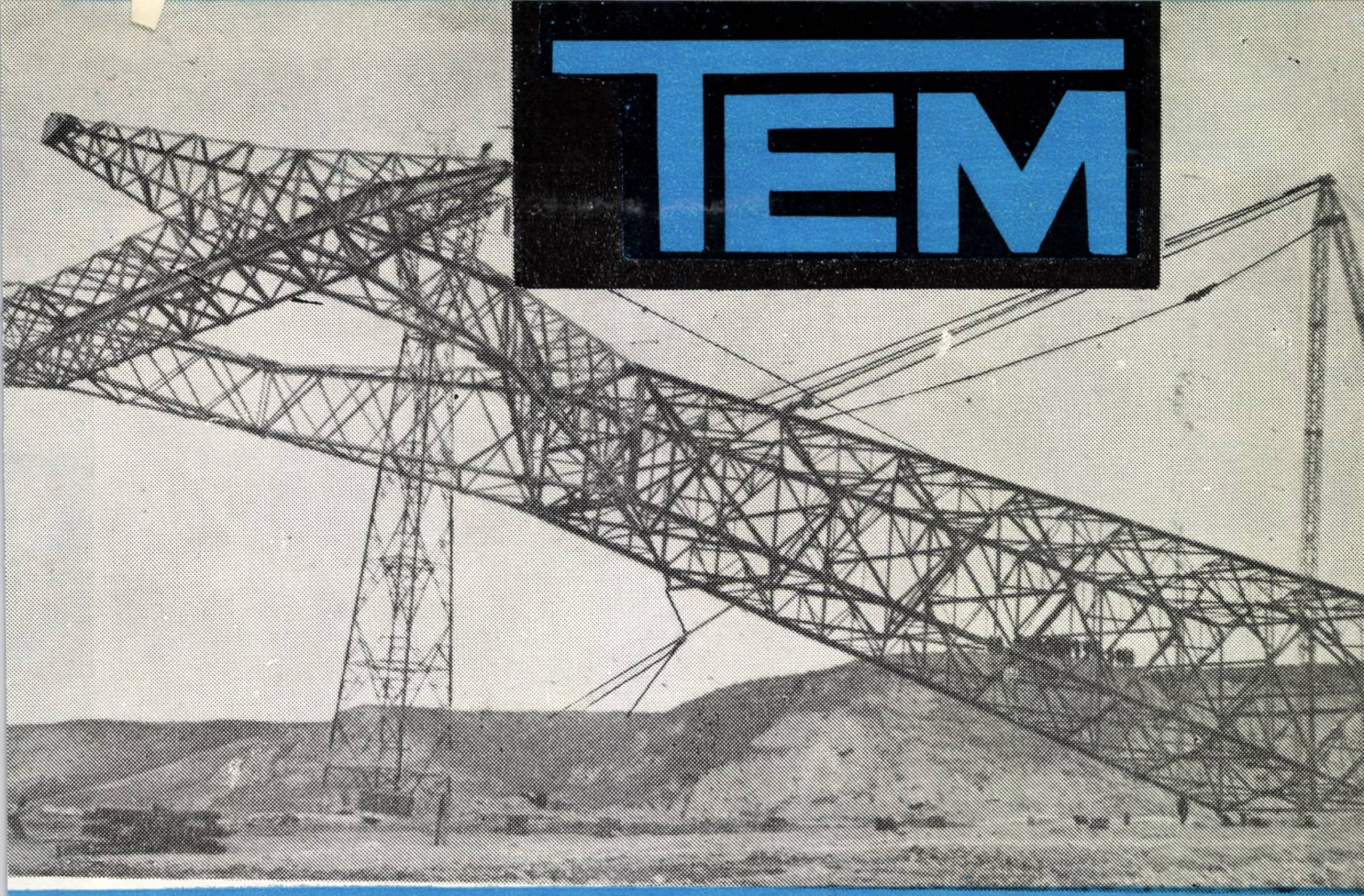
Execută montarea, punerea în funcţiune şi darea în exploatare a echipamentelor şi instalaţiilor energetice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice

Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare
- cazane de abur de mare capacitate şi parametri înalţi de funcţionare
- turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW
- instalaţii de combustibil pentru cărbuni, păcură, gaze
- alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice.

Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice :
- turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW, conducte forţate
- echipamente şi alte instalaţii pentru centrale hidro şi termoelectrice
- echipamente şi instalaţii pentru ecluze.

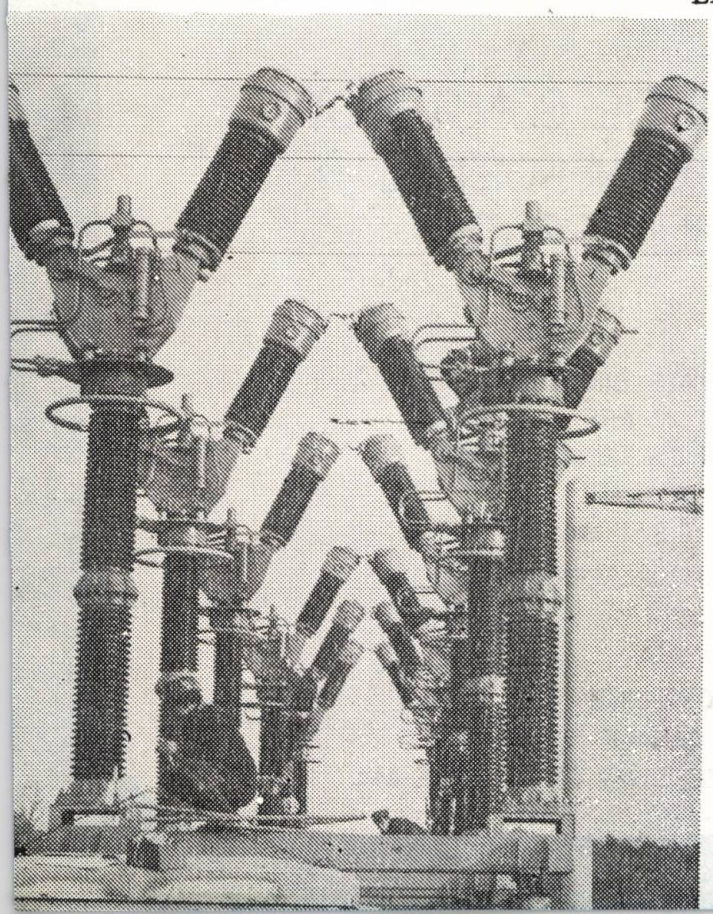
Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale :
- instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 400 kV inclusiv
- instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice
- instalaţii de comutaţie secundară şi de automatizare.

Bucureşti, Calea Dorobanţi nr. 105, telefon 79.70.20, telex 335



La executarea instalaţiilor electrice, Trustul ELECTROMONTAJ foloseşte procedee tehnologice moderne de mare productivitate, care conduc la durate scurte de execuţie şi la un înalt nivel calitativ al lucrărilor

EXECUTĂ PRIN UNITĂTILE SALE DE CONSTRUCŢII :

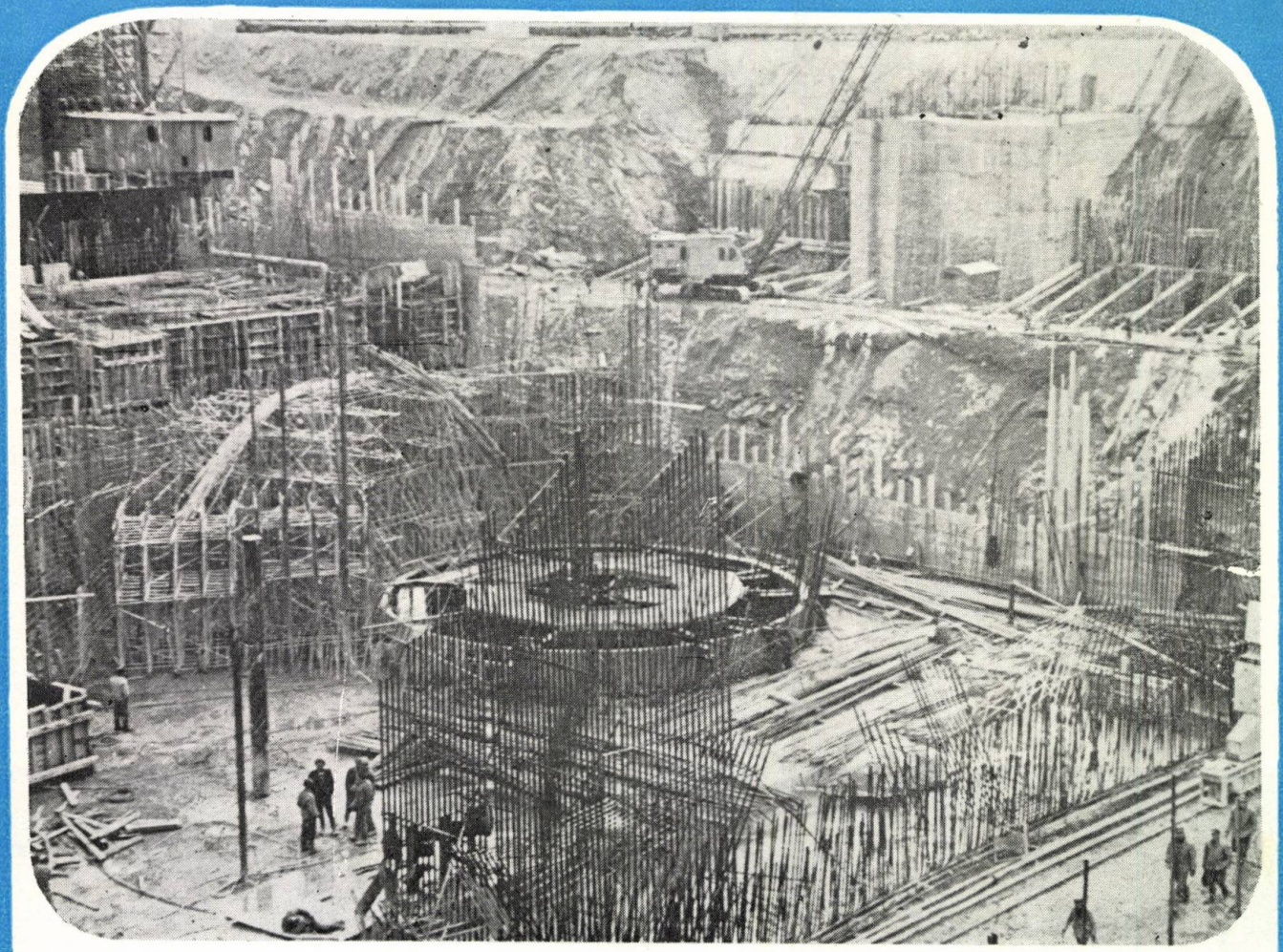


- Linii electrice de foarte înaltă tensiune, 220 - 400 kV
- Linii electrice de înaltă şi medie tensiune, 6 - 110 kV
- Lucrări de joasă tensiune : iluminat stadioane, autostrăzi, aeroporturi
- Linii electrice în cabluri subterane şi subfluviale de la 1 - 220 kV
- Staţii electrice de transformare şi conexiuni de 1 - 400 kV
- Posturi de transformare şi puncte de alimentare de orice tensiune şi putere

TRUSTUL ELECTROMONTAJ

BUCUREŞTI, CALEA MOŞILOR 158

Telefon 16 63 30



MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE

TRUSTUL DE CONSTRUCTII HIDROENERGETICE BUCURESTI

EXECUTA

- BARAJE
  - DE GREUTATE DIN BETON
  - DIN BETON IN ARC
  - DIN BETON CU CONTRAFORTI
  - DIN ANROCAMENTE
  - DIN PAMINT SAU BALAST
- CENTRALE HIDROELECTRICE
  - SUBTERANE
  - DE SUPRAFATA
- GALERII HIDROTEHNICE
- CONDUCTE SI CANALE
- DIGURI, ECLUZE, STATII DE POMPARE e.t.c.

ROMENERGO

FOREIGN TRADE COMPANY

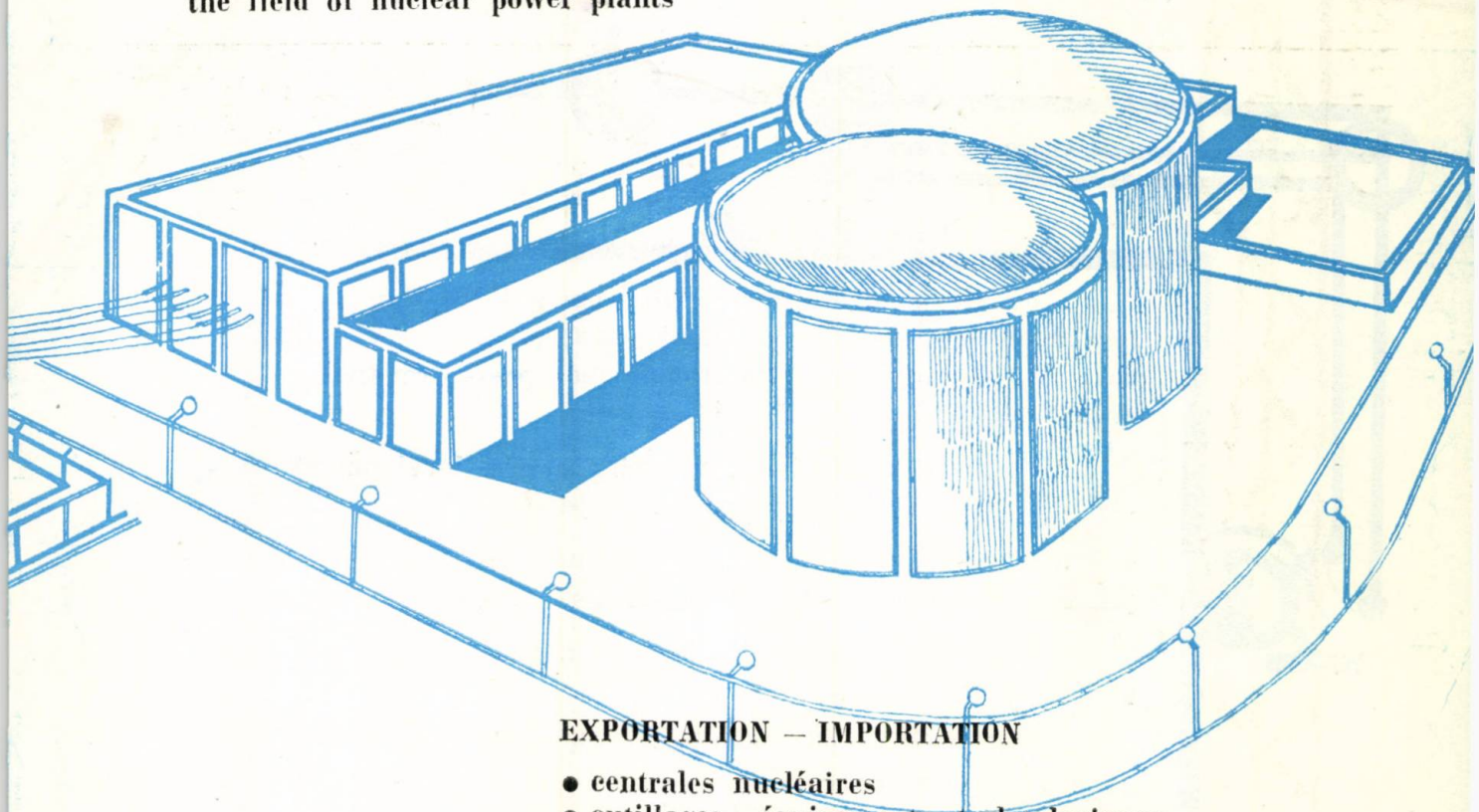
ROMÂNIA - BUCHAREST
Calea Victoriei 194 - Sector 1
CABLES:
ROMENERGO BUCUREŞTI
P.O. BOX: 22 - 153
TELEX: 011525 romeng r
POSTAL CODE: 71 101

PHONE: 50 66 82

IMPORT-EXPORT IN THE NUCLEAR FIELD

EXPORT — IMPORT

- nuclear power plants
- technological equipment and devices, materials, specific spare parts for nuclear power plants
- licences, studies, designs, know-how, documentations, engineering, technology, technical assistance, training of staff in the field of nuclear power plants



EXPORTATION — IMPORTATION

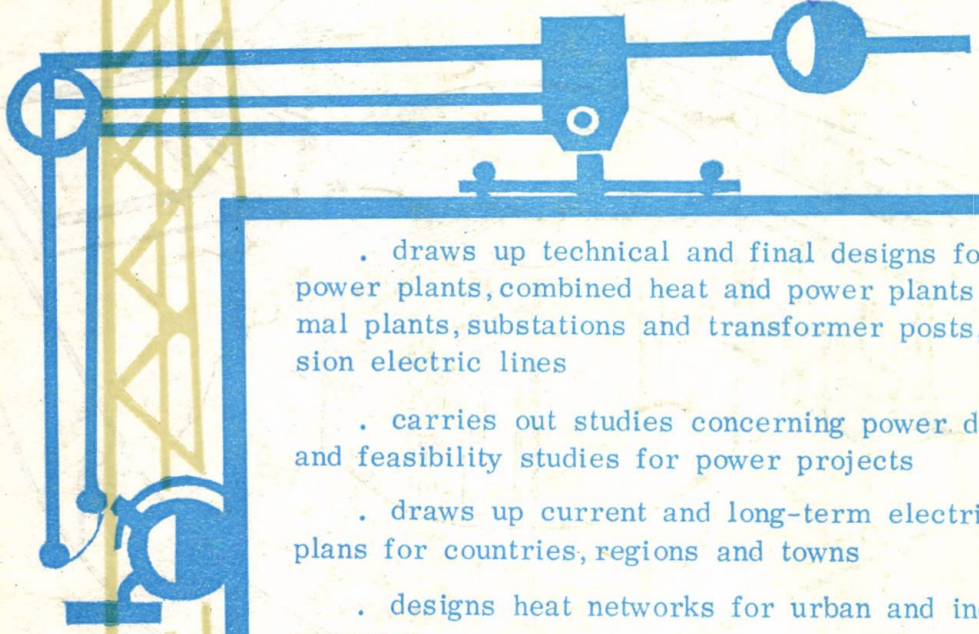
- centrales nucléaires
- outillages, équipements technologiques, matériaux et pièces de rechange appropriés aux centrales nucléaires
- licences, études, projets, cahiers techniques, know-how, engineering, technologie, assistance technique, formation de cadres dans le domaine des centrales nucléaires

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI ENERGETICE

BUCURESTI, Bd. Lacul Tei nr. 1, Tel. 12.19.70 ; 12.71.41 Telex 10.978 ispe r

Institutul de Studii şi Proiectări Energetice (The Institute for Power Studies and Designs), the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the achievement of the electrification plans, and for the electric networks operation in economic and safety conditions

cooperates with foreign firms and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power industry field



. draws up technical and final designs for thermal power plants, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

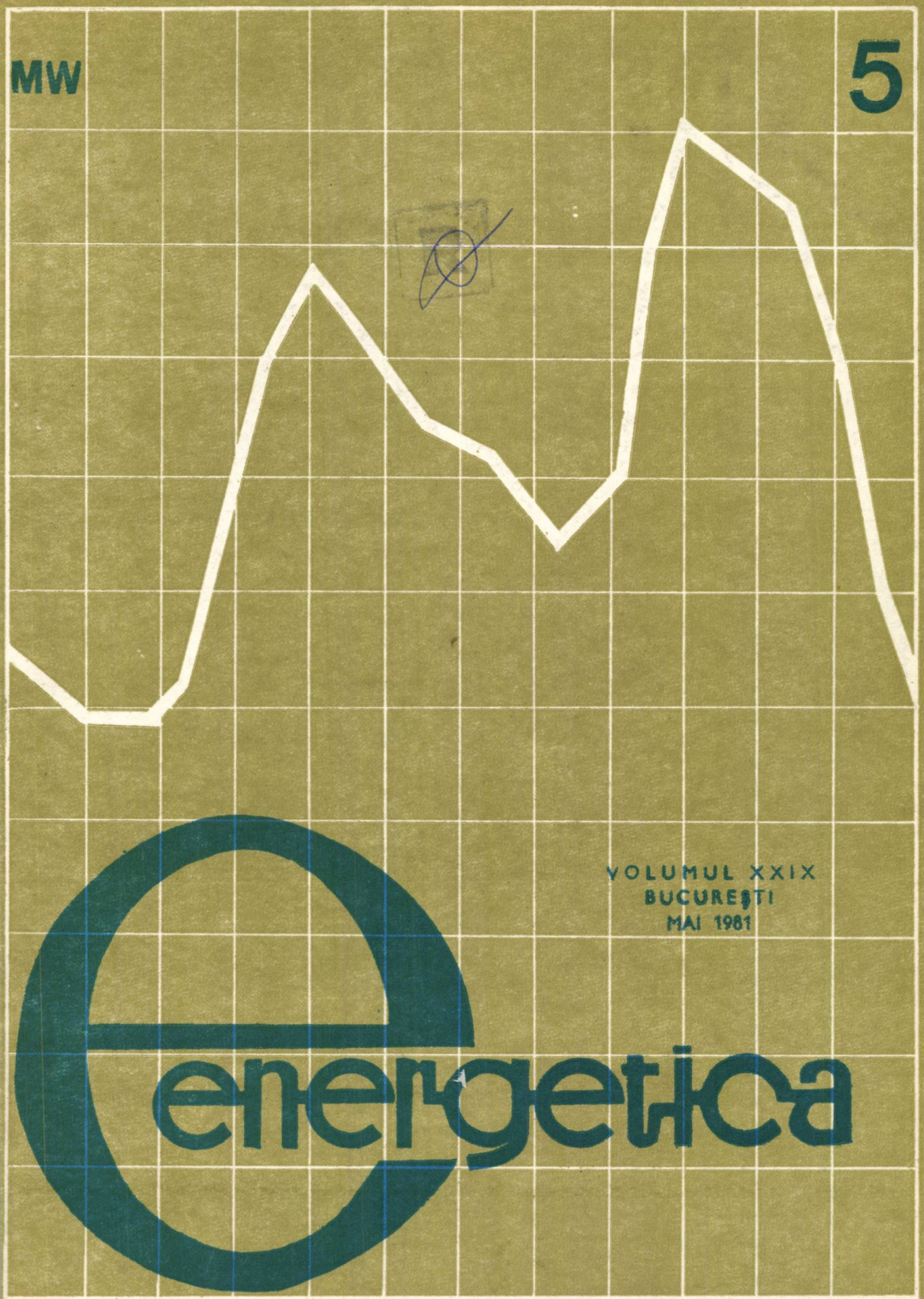
. designs heat networks for urban and industrial purposes

. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

. grants technical assistance in the field of analysis an programming

E 2039



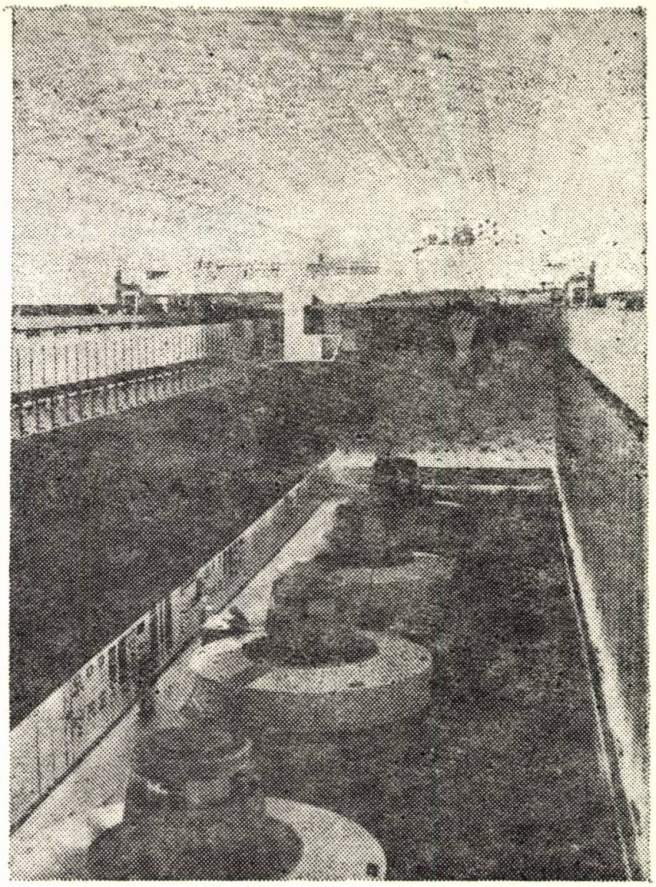
VOLUMUL XXIX
BUCUREŞTI
MAI 1981

energetica

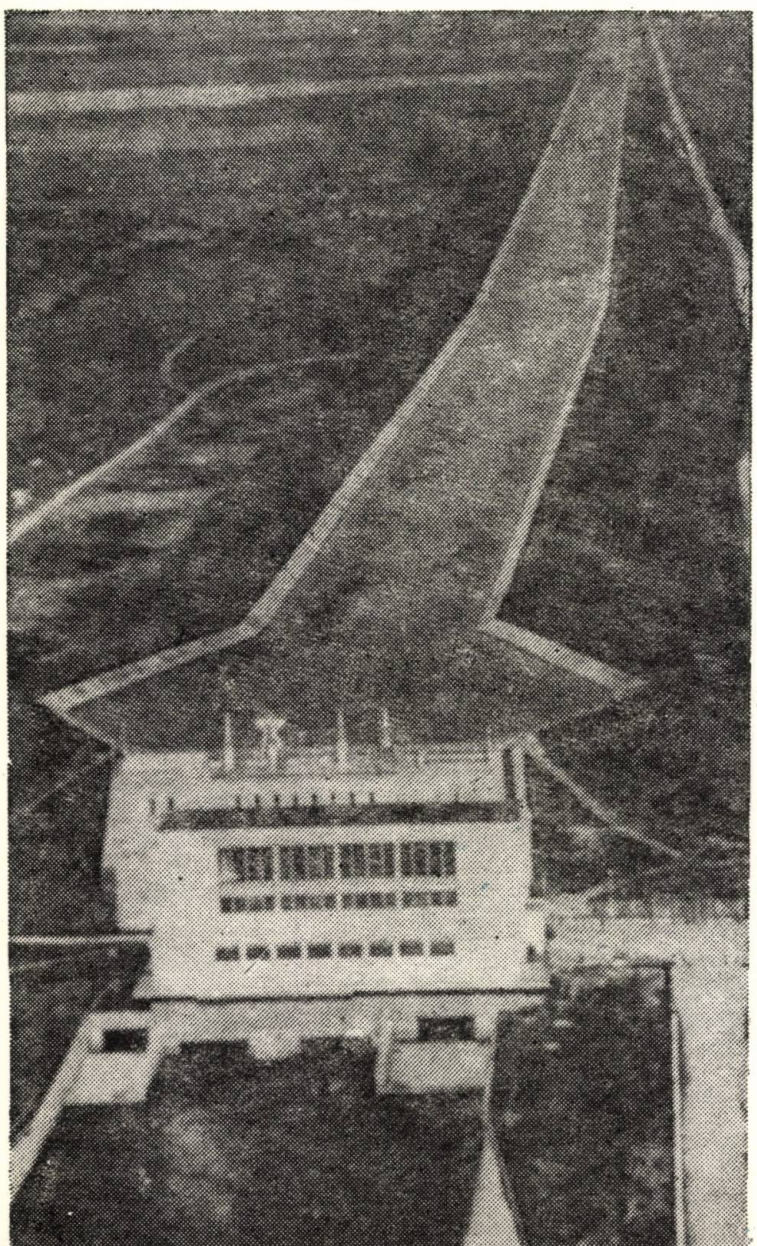
I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI

PROIECTĂRI HIDROENERGETICE



ISPH-Designing Institute with complex profile offers :



RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

SPECIAL ACTIVITIES

- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 29 Nr. 5 mai

MŰSZAKI KÖNYVTÁR BUDAPEST 1863

Cuprinsul

		Pag.
C. Mihăileanu, M.G.M. Pop şi *M.M. Dăncilă*	**Programul de dezvoltare energetică a României, reflectat în concluziile celei de-a XI-a Conferinţe Mondiale a Energiei**	205—212
V. Vulcu, V. Hoffmann, H. Bednar ş. a.	**Contribuţii privind gazeificarea lignitilor de Rovinari**	213—214
E. Gatman-Săndulescu, A.I. Penu şi *E. Antoniu*	**Caracteristicile petrografice ale lignitilor din bazinul Rovinari-Motru şi implicaţiile acestora în CTE**	214—217
V. Bălan şi *A. Creţu*	**Ameliorarea calităţii şistului bituminos brut prin spălarea în medii dense**	218—221
G. Marinescu	**Metodă de calcul pentru determinarea regimului economic de funcţionare a transformatoarelor**	221—230
Gh. Şchiopu	**Determinarea secţiunii optime a conductoarelor utilizînd metode econometrice**	230—234
V. Neaţu, M. Matei şi *P. Dordea*	**Stadiul actual al generalizării procesului de aditivare a păcurii sulfuroase şi problene legate de aplicare**	234—240
Şt. Ivăşcanu şi *A.P. Comes*	**Coroziunea preîncălzitoarelor de aer regenerative la cazanele generatoare de abur funcţionînd pe păcură cu conţinut ridicat de sulf**	240—247
Şt. Nibeleanu şi *P. Popescu*	**Experimentarea pe modele a stingerii incendiilor de cărbuni autoaprinşi în buncărele de depozitare, prin utilizarea gazelor de inertizare**	247—250
M. Popescu	**O apreciere critică a metodelor experimentale de evaluare a regimului deformant**	250—252
N. Dănilă, V. Muşatescu şi *S. Dumitrescu*	**Posibilităţi de valorificare energetică a apelor geotermale de la Băile Herculane**	252—255
RECENZII		

Revista apare sub îndrumarea
Consiliului științific al
Institutului central de cercetări energetice

„Revista ENERGETICA"—organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția: București, Bd. Energeticienilor 8, Sector 3. Telefon: 20 67 30. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R.—Sectorul 3. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/7914/1979

I. P. I. c. 1340

41 401

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 620.9(063)

К. Михэйляну, М.Г.М. Поп и *М. М. Дэнчилэ*: **Программа развития энергетики Румынии, отраженная в заключениях XI-й Международной Конференции по энергии.**

Energetica 29 (1981), No. 5, стр. 205–212

ДК 662.74

В. Вулку, В. Гоффманн, Х. Беднар и др.: **Вклад, касающийся газифицирования лигнитов в Ровинарь.**

Energetica 29 (1981), No. 5, стр. 213–214

ДК 621.311.22/23 : 662.62

Е. Гатман-Сэндулеску, А. И. Пену и *Е. Антониу*: **Петрографические характеристики лигнитов бассейна Ровинарь-Мотру и их последствия на теплоэлектростанциях.**

Energetica 29 (1981), No. 5, стр. 214–217

ДК 621.311.22/23. : 662.67

В. Бэлан и *А. Крецу*: **Улучшение качества горючих сланцев путем промывки в плотной среде.**

Energetica 29 (1981), No. 5, стр. 218–221

ДК 621.311.22/23 : 621.314.2.001,4

Г. Маринеску: **Расчетный метод определения экономического режима работы трансформаторов.**

Energetica 29 (1981), No. 5, стр. 221–230

ДК 621.311.22/23 : 621.175

Г. Шкиопу: **Определение оптимального сечения проводников, используя экономические методы.**

Energetica 29 (1981), No. 5, стр. 230–234

ДК 662.753.325

В. Няцу, М. Матей и *П. Дордя*: **Актуальное состояние генерирования процесса аддитивации сернистого мазута и вопросы, связанные с нприменением.**

Energetica 29 (1981), No. 5, стр. 234–240

ДК 621.311.22/23 : 621.181 : 620.193

Шт. Ивэшкану и *А. П. Комес*: **Коррозия регенеративных воздухоподогревателей на котлах парогенераторов, работающих на мазуте с повышенным содержанием серы.**

Energetica 29 (1981), No. 5, стр. 240–247

ДК 662.64/66 : 614.84 : 662.69

Шт. Ниделяну и *П. Попеску*: **Экспериментирование на модели касающееся тушения пожаров самовозгорающихся углей в бункерах складирования, путем использования инертных газов.**

Energetica 29 (1981), No. 5, стр. 247–250

ДК 621.3.018.3

М. Попеску: **Критическая оценка экспериментальных определений искаженного режима.**

Energetica 29 (1981), No. 5, стр. 250–252

ДК 621.311.25

Н. Дэнилэ, В. Мушатеску и *С. Думитреску*: **Возможности энергетического освоения геотермальных вод на Бэиле Херкулане.**

Energetica 29 (1981), No. 5, стр. 252–255

INHALTSVERZEICHNIS

DK 620.9(063)

C. Mihăileanu, M.G.M. Pop und *M.M. Dăncilă*: **Das Energie-Entwicklungsprogramm Rumäniens, widerspiegelt in den Schlussfolgerungen der 11 Weltenergiekonferenz.**

Energetica 29 (1981), H. 5, S. 205–212

DK 662.74

V. Vulcu, V. Hoffmann, H. Bednar u.a.: **Beiträge zur Vergasung der Braunkohle aus dem Kohlenbecken Rovinari**

Energetica 29 (1981), H. 5, S. 213–214

DK 621.311.22/23 : 662.62

E. Gatman-Săndulescu, A.I. Penu und *E. Antoniu*: **Die petrographischen Kennzeichen der Braunkohlearten aus dem Kohlenbecken Rovinari-Motru und ihre Auswirkungen auf die Wärmekraftwerke**

Energetica 29 (1981), H. 5, S. 214–217

DK 621.311.22/23 : 662.67

V. Bălan und *A. Creţu*: **Die Verbesserung der Rohölschieferqualität durch Spülung in dichten Mitteln**

Energetica 29 (1981), H. 5, S. 218–221

DK 621.311.22/23 : 621.314.2.001.4

G. Marinescu: **Berechnungsmethode für die Bestimmung des ökonomischen Betriebsregimes der Trafos**

Energetica 29 (1981), H. 5, S. 221–230

DK 621.311.22/23 : 621.175

Gh. Şchiopu: **Die Bestimmung der optimalen Querschnittes der Leitunger anhand wirstschaftlich-technischer Methoden**

Energetica 29 (1981), H. 5, S. 230–234

DK 662.753.325

V. Neaţu, M. Matei und *P. Dordea*: **Der gegenwärtiger Stand der Verallgemeinerung des Additivierungsprozesses der schwefelhaltigen Heizöles und Fragen ihrer Anwendung**

Energetica 29 (1981), H. 5, S. 234–240

DK 621.311.22/23 : 621.181 : 620.193

Şt. Ivăşcanu und *A.P. Comes*: **Korrosionserscheinungen bei regenerativen Luftvorwärmern der Dampfkessel auf schwefelhaltigem Heizöl**

Energetica 29 (1981), H. 5, S. 240–247

DK 662.64/66 : 614.84 : 662.69

Şt. Nibeleanu und *P. Popescu*: **Modellversuche für die Löschung der selbstbrennenden Kohlen in Kohlenbunkern durch die Anwendung löschenden Gasen**

Energetica 29 (1981), H. 5, S. 247–250

DK 620. 3.018.3

M. Popescu: **Ein kritische Auswertung der experimentellen Auswertungsmethoden des Verformungsregimes**

Energetica 29 (1981), H. 5, S. 250–252

DK 621.311.25

N. Dănilă, V. Muşatescu und *S. Dumitrescu*: **Möglichkeiten zur energetischen Verwertung der geothermalen Gewässer aus Băile Herculane**

Energetica 29 (1981), H. 5, S. 252–255

SOMMAIRE

CD 620.9(063)

C. Mihăileanu, M.G.M. Pop et *M.M. Dăncilă* : **Le programme de développement énergétique de la Roumanie, reflété dans les conclusions de la 11-ème Conférence Mondiale de l'Energie**

Energetica 29 (1981), no. 5, p. 205–212

CD 662.74

V. Vulcu, V. Hoffmann H. Bednar et *a.* : **Contributions à la gazéification des lignites de Rovinari**

Energetica 29 (1981), no. 5, p. 213–214

CD 621.311.22/23 : 662.62

E. Gatman-Săndulescu, A.I. Penu et *E. Antoniu:* **Les caractéristiques pétrographiques des lignites du bassin de Rovinari-Motru et leurs implications dans les centrales thermo-électriques**

Energetica 29 (1981), no. 5, p. 214–217

CD 621.311.22/23 : 662.67

V. Bălan et *A. Crețu* : **Amélioration de la qualité du schiste bitumineux brut par lavage en milieux denses**

Energetica 29 (1981), no. 5, p. 218–221

CD 621.311.22/23 : 621.314.2.001.4

G. Marinescu : **Méthode de calcul pour la détermination du régime économique de fonctionnement des transformateurs**

Energetica 29 (1981), no. 5, p. 221–230

CD 621.311.22/23 : 621.175

Gh. Șchiopu : **Détermination de la section optimale des conducteurs en utilisant les méthodes économétriques**

Energetica 29 (1981), no. 5, p. 230–234

CD 662.753.325

V. Neațu, M. Matei et *P. Dordea* : **Le stade actuel de la généralisation du processus d'dditivation du mazout sulfureux et les problèmes liés à l'application**

Energetica 29 (1981), no. 5, p. 234–240

CD 621.311.22/23 : 621.181 : 620.193

Șt. Ivășcanu et *A.P. Comes* : **La corrosion des réchauffeurs d'air régénératifs des chaudières à vapeur fonctionnant avec du mazout à haute teneur de soufre**

Energetica 29 (1981), no. 5, p. 240–247

CD 662.64/66 : 614.84 : 662.69

Șt. Nibeleanu et *P. Popescu* : **Expérimentation sur des modèles de l'extinction des incendies des charbons autoinflammés dans les bunkers de stockage, à l'aide des gaz d'inertisation**

Energetica 29 (1981), no. 5, p. 247–250

CD 621.3.018.3

M. Popescu : **Une appréciation critique sur les méthodes expérimentales d'évaluation du régime déformant**

Energetica 29 (1981), no. 5, p. 250–252

CD 621.311.25

N. Dănilă, V. Mușatescu et *S. Dumitrescu* : **Possibilités de mise en valeur du point de vue énergétique des eaux géothermales de la station balnéaire Băile Herculane**

Energetica 29 (1981), no. 5, p. 252–255

CONTENTS

DC 620.9(063)

C. Mihăileanu, M.G.M. Pop and *M.M. Dăncilă* : **The Romanian energy development scenario as reflected in the conclusions of the 11th Wolrd Energy Conference**

Energetica 29 (1981), nr. 5, p.205–212

DC 662.74

V. Vulcu, V. Hoffmann, H. Bednar a.o. : **Contributions regarding the Rovinari lignites gasification**

Energetica 29 (1981), nr. 5, p.213–214

DC 621.311.22/23 : 662.62

E. Gatman-Săndulescu, A.I. Penu and *E. Antoniu* : **Petrographic characteristics of the lignites from the Rovinari-Motru basin and their effects on power thermal plants**

Energetica 29 (1981), nr. 5, p.214–217

DC 621.311.22/23 : 662.67

V. Bălan and *A. Crețu* : **Raw oil shales quality improvement by washing in dense media**

Energetica 29 (1981), nr. 5, p.218–221

DC 621.311.22/23 : 621.314.2.001.4

G. Marinescu : **Calculation method for determining the economic transformers operation regime**

Energetica 29 (1981), nr. 5, p.221–230

DC 621.311.22/23 : 621.175

Gh. Șchiopu : **Optimal conductor cross-section determination using econometric methods**

Energetica 29 (1981), nr. 5, p.230–234

DC 662.753.325

V. Neațu, M. Matei and *P. Dordea* : **The present stage of the sulphurous oil additivation process generalization and application problems**

Energetica 29 (1981), nr. 5, p.234–240

DC 621.311.22/23 : 621.181 : 620.193

Șt. Ivășcanu and *A.P. Comes* : **Corrosion of regenerative air preheaters at high sulphur content oil burning steam generator boilers**

Energetica 29 (1981), nr. 5, p.240–247

DC 662.64/66 : 621.84 : 662.69

Șt. Nibeleanu and *P. Popescu* : **Model testing of self-ignited burning coal extinction in storage bunkers using inertizing gases**

Energetica 29 (1981), nr. 5, p.247–250

DC 621.3.018.3

M. Popescu : **A critical approach of experimental evaluation methods of the deforming regime**

Energetica 29 (1981), nr. 5, p.250–252

DC 621.311.25

N. Dănilă, V. Mușatescu and *S. Dumitrescu* : **Some possibilities to use the geothermal waters from Băile Herculane for energy purposes**

Energetica 29 (1981), nr. 5, p.252–255

Programul de dezvoltare energetică a României, reflectat în concluziile celei de-a XI-a Conferințe Mondiale a Energiei

Dr. ing. **Călin Mihăilcanu**
Dr. ing. **Mihai G.M. Pop**
Ing. **Marius M. Dăncilă**

Ideea comparării politicii, programelor și planurilor naționale proprii de dezvoltare cu tendințele constatate în cadrul unor confruntări științifice de amploare este primul impuls al oricărui participant la schimbul mondial de idei și informații care are loc cu ocazia unor astfel de manifestări. Desigur, din confruntare, în funcție de premise, se pot confirma sau infirma idei și ipoteze la elaborarea cărora, direct sau indirect, participă toți oamenii muncii și care pot să necesite ajustări pe parcurs, nu întotdeauna ușor de efectuat. În același timp, acesta este însă un criteriu important de verificare a opțiunilor proprii, și deci, din punct de vedere științific, moral și social, compararea tuturor punctelor de vedere și a tendințelor generale cu propriile idei reprezintă o obligație.

În luna septembrie 1980, așa cum se știe, s-a desfășurat la München cea de-a XI-a Conferință Mondială a Energiei sub deviza „Energie pentru lumea noastră" — deviză care reprezintă un imperativ al contemporaneității, la care foarte multe state sînt încă datoare cu un răspuns față de generația actuală, dar în special față de generațiile viitoare. În acest sens, problema energiei este pentru prima dată considerată în interacțiunea ei intimă cu viața economică și socială a planetei.

Cu doi ani înaintea desfășurării acestei Conferințe, în țara noastră s-a început, sub atenta și directa îndrumare a secretarului general al Partidului Comunist Român, tovarășul Nicolae Ceaușescu, elaborarea „Programului-directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981—1990 și orientările principale pînă în anul 2000". Acest document programatic aprobat de cel de-al XII-lea Congres al partidului, în 1979, are drept scop asigurarea dezvoltării armonioase economice și sociale a țării, pe baza resurselor energetice și de materii prime proprii, cu atingerea, în aceste condiții, a nivelului de țară industrială cu grad mediu de dezvoltare la sfîrșitul acestui cincinal.

Ca o apreciere generală, confirmată și în discuțiile purtate cu specialiștii prezenți la Conferința Mondială a Energiei, se poate spune că tratarea sistemică a elementelor sociale, politice, economice și energetice este concretizată magistral în programul de energie al țării noastre, program ce vine să sublinieze astfel încă odată clarviziunea politicii partidului nostru și superioritatea sistemului social care poate într-adevăr să realizeze — datorită proprietății socialiste asupra mijloacelor de producție — o îmbinare fericită a premiselor necesare armonizării dezvoltării concomitente a celor patru vectori amintiți anterior.

Programul-directivă de cercetare și dezvoltare energetică pentru perioada 1981—1990 și orientările principale pînă în anul 2000 stabilește sarcinile principale pentru dezvoltarea bazei de materii prime și resurse energetice, prin intensificarea cercetării geologice, descoperirii și utilizării în cantități sporite a resurselor energetice clasice ale țării, conservării energiei prin aplicarea unor măsuri de reducere continuă a consumului specific de energie în toate domeniile și sectoarele de activitate, gospodăririi raționale a combustibililor și energiei și introducerii într-un ritm susținut a surselor noi de energie.

Conservarea energiei a fost validată drept cea mai importantă sursă de energie pe care o avem în prezent și, ca atare, ca primă cale de acțiune în următorul deceniu, pentru toate statele cu economii care au depășit stadiul de dezvoltare energetică extensivă. Aspectele conservării și economisirii energiei au fost abordate în toate domeniile și pe toate treptele bilanțurilor energetice, mergînd pînă la înființarea unor organisme specializate pentru stabilirea, rezolvarea și urmărirea aplicării măsurilor de utilizare eficientă a energiei.

În țara noastră, intervenția dezvoltării tehnologice este decisivă în realizarea politicii de conservare a energiei și, în acest sens, Directivele Congresului al XII-lea al Partidului Comunist Român indică deceniul 1981—1990 „deceniul științei, tehnologiei, calității și eficienței" — premise inseparabile pentru realizarea scopurilor propuse într-un context social și economic în evoluție.

În acest sens, se poate remarca faptul că, deși soluțiile de modernizare industrială se cunosc, ca și acelea necesare dezvoltării surselor noi de energie, inepuizabile, motive economice de piață au împiedicat țările capitaliste dezvoltate să poată păși mai hotărît pe calea conservării energiei.

Un studiu al Agenției Internaționale pentru Energie (AIE), referindu-se la principalele șase țări capitaliste dezvoltate [1], arată că, coeficientul de elasticitate (definit ca fiind raportul între creșterea consumului de energie și creșterea venitului național brut în același interval de timp), aflat pînă în anul 1973 la valori supraunitare, a scăzut treptat doar pînă la valori de ordinul 0,9...0,91 în 1978.

În figura 1 este redată evoluția comparativă a acestui coeficient pentru țările citate și România, în aceeași perioadă de timp.

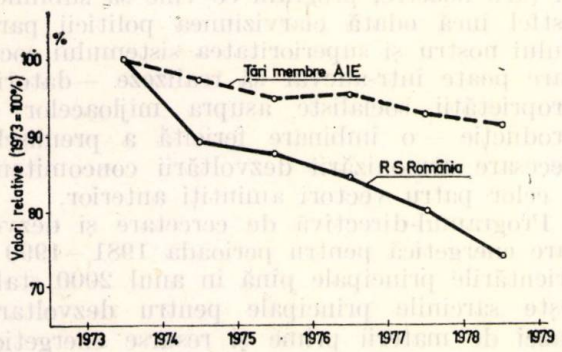


Fig. 1. Variația coeficientului de elasticitate în principalele șase țări membre ale AIE și R.S. România, în perioada 1973—1978.

Țările socialiste în general, iar România în special, datorită caracterului planic-proporțional de dezvoltare economică și socială, dispun de mijloacele materiale și umane necesare unor transformări tehnologice și structurale de amploarea celor cerute de situația energetică actuală. Deși din punct de vedere tehnologic sîntem încă în urma țărilor dezvoltate în unele sectoare ale economiei, capacitatea organizatorică și scara transformărilor coincide cu amploarea cerută a procesului de trecere de la dependența de monocultura hidrocarburilor spre polivalența unei structuri echilibrate a purtătorilor de energie primară, lucru care se reflectă în scăderea relativă mult mai pronunțată decît în țările capitaliste dezvoltate industrial a coeficientului de elasticitate din industrie (fig. 2).

Raportul menționat al Agenției Internaționale pentru Energie arată că: „...a fost resimțită o lipsă de credibilitate în programele energetice în multe țări membre, aceasta îngreunînd implementarea lor. O încercare de a se acorda mai multă atenție eforturilor naționale de a stimula înțelegerea publică pentru necesitatea conservării energiei a fost făcută în cursul reuniunii internaționale din octombrie 1979 a reprezentanților țărilor membre ale Agenției". Raportul citat recunoaște că, datorită diferențelor de interpretare a diverselor climate socio-economice, unele țări au plasat centrul de greutate al politicii de conservare în zona măsurilor voluntare, pe cînd altele

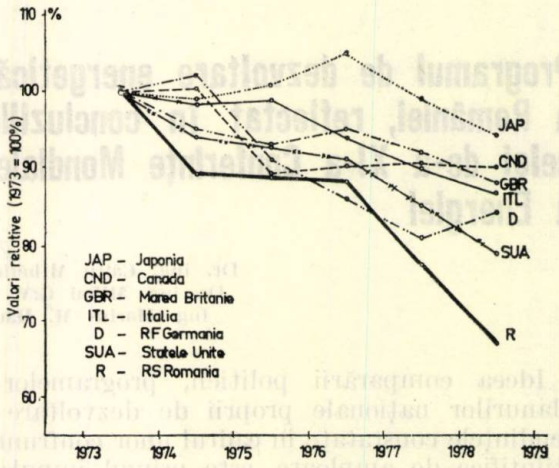


Fig. 2. Variația coeficientului de elasticitate în industrie pentru principalele șase țări membre ale AIE și R. S. România în perioada 1973—1978.

au utilizat măsuri cu caracter legislativ. În orice caz, prețul energiei a fost considerat factorul cheie al politicii de conservare.

Cu toate acestea, punctul de vedere al țărilor în curs de dezvoltare, foarte bine ilustrat de raportul OPEC [2], atrage atenția asupra faptului că: „...pentru un produs atît de vital ca petrolul, nu putem lăsa lucrurile în libertate absolută. Creșterea economică și mai exact creșterea consumului de energie trebuie să fie în continuare modificate. În acest scop, țările dezvoltate principale consumatoare de energie trebuie să aplice o politică mai viguroasă în direcția: a) eliminării tuturor formelor de risipă rezultînd din folosirea nerațională a hidrocarburilor; b) revizuirii structurilor de producție în scopul eliminării pierderilor actuale din conversia, transportul și distribuția energiei primare; c) integrării în sistem a altor surse de energie care pot să contribuie în balanță".

În contextul economic și politic actual, pe plan mondial se resimte o înrăutățire continuă a condițiilor de acces la sursele de materii prime și energetice în diverse zone ale globului, grefată pe o agravare a stabilității relațiilor internaționale.

Astfel, datorită creșterii continue a consumului de energie pe locuitor în țările puternic industrializate, s-a ajuns la situația paradoxală în care numai creșterea consumului de petrol pe locuitor al S.U.A. în perioada 1968—1978 a fost de șase ori mai mare decît valoarea absolută a consumului pe locuitor din Asia și Africa împreună în anul 1978. Consumul de petrol

[1] Reddington, J. și Gradin, R. "Energy Conservation. A Cornerstone of the International Agency's Strategy". 11th World Energy Conference Paper, vol. 1B, pp. 177—196. Sept. 8—12, 1980, Munich.

[2] Mimouni, M. "Necessity for an Optimum Energy-Mix. An OPEC Viewpoint". 11th World Energy Conference Paper, vol. 2, pp. 149—164. Sept. 8—12, 1980, Munich.

în diversele regiuni ale globului, conform statisticilor furnizate de OPEC, este prezentat în tabelul 1.

Tabelul 1

Consumul de petrol pe locuitor, în diverse regiuni ale globului, în perioada 1968—1978

Țara sau zona	Consumul anual pe locuitor [barili]
S.U.A.	22,4 —28,7
Europa de vest	10,15—13,07
Japonia	9,45—16,24
Orientul mijlociu	3,15— 5,95
Țări socialiste	1,82— 3,92

Conform opiniei OPEC, la care România, în calitatea sa de țară în curs de dezvoltare, nu poate să nu subscrie, se menționează : „... creșterea consumului de petrol descris mai sus subliniază următorii factori : consumul multor țări industrializate a fost mult mai mare decît proporția corectă ce le-ar reveni din sursele mondiale de energie, iar în al doilea rînd, toate zonele importante ale lumii depind încă de petrol ca sursă majoră de energie".

Aceasta subliniază încă odată corectitudinea ideii centrale a programului de dezvoltare energetică a țării noastre în următorul deceniu — aceea de a realiza independența energetică a României. Această idee, care constă în dezvoltarea bazată pe resursele, inteligența și capacitatea proprie, cîștigă tot mai mult teren ca singură alternativă de urmat și în realizarea independenței și suveranității naționale a fiecărui stat în contextul unei cooperări multilaterale echitabile.

Cu ocazia Conferinței Mondiale a Energiei s-a dovedit că, deși prognozele avansate de statele industrializate și de organisme internaționale arată că în viitor vom asista la o deplasare a centrului de consum energetic din țările dezvoltate înspre țările în curs de dezvoltare (tabelul 2), în cei șapte ani scurși de la declanșarea crizei petrolului consumul de

Tabelul 2

Prognoza cererii de energie, conform scenariului elaborat de către Comisia de Conservare a Energiei
[Gtep]

	Țări occidentale industrializate	Țări socialiste	Țări în curs de dezvoltare	Total mondial
1972	3,4	1,5	0,61	5,51
1980	4,05	1,95	1,05	7,05
1990	4,82	2,73	1,95	9,5
2000	5,5	3,8	3,45	12,75
2010	5,95	5,3	5,75	17,0
2020	6,33	7,4	9,02	22,75

Surs : Rapp. de la Commission de Préservation de la Conférence Mondiale de l'Energie, Paris, Ed. Techn. Econ., 1979.

energie al țărilor industrializate a continuat să crească, în timp ce al majorității țărilor în curs de dezvoltare a înregistrat doar creșteri relativ modeste, cu toate eforturile financiare deosebite făcute de acestea pentru achiziționarea unor materii prime energetice peste posibilitățile lor.

Situația s-a agravat într-atît încît organisme bancare internaționale au refuzat creditarea în anul viitor a unor proiecte de dezvoltare energetică în aceste țări, sumele alocate de acestea servind strict menținerii actuale a nivelului consumului. Astfel, țările în curs de dezvoltare vor rămîne în continuare tributare unui model tehnologic de gîndire străin lor, rămînînd deschisă problema găsirii căii proprii pentru atingerea independenței energetice și dezvoltării economice.

Realizarea independenței energetice este bazată — în concepția statului nostru — pe două elemente : exploatarea cît mai diversificată a întregului potențial de resurse clasice concomitent cu conservarea energiei. Realizarea unei structuri ponderate a purtătorilor de energie primară în raport cu actuala conjunctură energetică mondială, se sprijină în următorii zece ani pe dezvoltarea intensă a extracției de cărbune energetic, astfel încît ponderea lignitului și a șisturilor combustibile să crească în structura balanței de combustibil primar pentru producerea energiei electrice de la 40% în 1980 pînă la 55% în 1985.

Această schimbare drastică, subliniată și de mărimea efortului financiar implicat, noutatea echipamentului fabricat în întregime în țară, problemele severe de păstrare a calității mediului ambiant au suscitat, la vremea întocmirii programului de energie, numeroase discuții. Este adevărat, la acea dată prețul petrolului era de numai 14—16 $/baril, se estima o creștere lentă către 30 $/baril în jurul anului 1985, iar importul nostru de petrol nu depășea 7 milioane tone. La aceasta se adaugă faptul că o serie de centrale electrice funcționînd pe hidrocarburi sînt încă noi sau foarte noi, iar experiența noastră în construcția de echipament termoenergetic pentru centrale mari pe cărbune inferior este de dată mai recentă. În această situație, optica programului energetic putea părea — la vremea respectivă — foarte îndrăzneață. Era vorba, de fapt, de schimbarea numai într-un deceniu a structurii purtătorilor primari de energie rezultată în urma unei politici de dezvoltare a întregii infrastructuri energetice datînd de peste 25 ani.

Următorii doi ani au evidențiat însă exploatarea într-un ritm tot atît de intens a surselor cunoscute de petrol ale lumii, nedescoperirea într-un ritm corespunzător consumului a altor zone petrolifere, precum și o instabilitate îngrijorătoare în rîndul țărilor arabe producătoare de petrol — ceea ce a determinat limi-

tarea continuă a livrărilor de petrol pe piața mondială concomitent cu o creștere spectaculoasă a prețului țițeiului brut.

Aceasta a făcut ca la recenta Conferință Mondială a Energiei cărbunele să apară ca principal susținător al creșterii mondiale de consum de energie, precum și elementul de înlocuire principal al hidrocarburilor în general, preconizîndu-se atît intensificarea ritmului de extracție, cît și diversificarea proceselor tehnologice de valorificare a cărbunelui.

În acest sens, apare sugestivă previziunea Băncii Mondiale [3] privind creșterea producției de cărbune în diverse mari zone ale lumii, redată în tabelul 3.

Tabelul 3

Prognoza producției de cărbune în perioada 1977 — 1990
[mil. t c.c.]

	1977	1980	1985	1990	Creștere anuală, %	
					1977—1985	1985—1990
Țări occidentale industrializate	1 134	1 265	1 476	1 752	3,3	3,5
Țări socialiste	1 463	1 662	2 089	2 610	4,6	4,5
Țări în curs de dezvoltare	137	233	304	440	7,1	7,6
Total mondial	2 774	3 160	3 869	4 802	4,2	4,4

Semnificativ pentru acest tabel este faptul că indică, pentru următoarea decadă, dublarea practic a producției mondiale de cărbune, un ritm de creștere deosebit avîndu-l producția de cărbune a țărilor în curs de dezvoltare, care, în aceeași perioadă de timp, aproape se va tripla. În același context, un alt raport, citînd opiniile conducerii executive a Agenției Internaționale pentru Energie [4], arată că: „producția de cărbune trebuie să se tripleze la sfîrșitul acestui secol dacă dorim să acoperim necesarul de energie cerut de creșteri economice moderate".

Cărbunele va constitui așadar o sursă importantă de energie, în principal pentru țările care au rezerve proprii, deoarece piața potențială a comerțului internațional de cărbune nu va putea reprezenta, la sfîrșitul secolului, decît un sfert din cea a petrolului.

Dezvoltarea comerțului mondial cu cărbune va accentua, în primul rînd, problema transportului — atît maritim, cît și terestru. Se reamintește că din cele circa 200 milioane tone cărbune comercializat la nivelul anului 1975, mai mult de jumătate a fost transportat peste oceane. Dacă, în viitor, cea mai mare parte a exporturilor de cărbune vor proveni din Australia, India, Canada, Republica Sud-Africană, China sau Columbia — transporturile maritime vor însemna circa 170 milioane tone în 1985, respectiv 400 milioane tone în anul 2000. Iată de ce această prognoză trebuie corelată cu acțiuni necesare în ceea ce privește construcția unor noi instalații portuare și de transbordare, cît și a rețelei de transport feroviar de la locul de descărcare la centrele de consum. Se subliniază că, astăzi, țări industrializate ca S.U.A., Italia și chiar U.R.S.S. nu dispun de capacitate de transport feroviar pentru asigurarea transportului necesarului viitor de cărbune. Din aceste motive cîștigă teren transportul hidraulic, prin conductă, al cărbunelui.

În efortul de a se folosi cantități sporite de cărbune, precum și al obținerii unor forme superioare de energie din cărbune, se dezvoltă atît procedee pentru înnobilarea cît și pentru gazeificarea și lichefierea acestuia.

Referitor la reconsiderarea cărbunelui ca materie primă pentru gazeificare și lichefiere se poate afirma că omenirea nu a fost luată prin surprindere, ea a mai recurs la aceste tehnici în timpul celui de-al doilea război mondial, însă, prin dezvoltarea ulterioară a tehnologiilor relativ ieftine bazate pe petrol, s-au abandonat prin anii '50—'60 cele bazate pe cărbune. Revenirea la acestea din urmă este legată de recuperarea decalajului care s-a creat în ultimul sfert de veac între aceste tehnologii și cele plecînd direct de la hidrocarburi.

Rapoartele prezentate arată că statele avansate industrial au reacționat imediat, atît în direcția perfecționării metodelor de extragere a cărbunelui de la mare adîncime prin procedee clasice, cu îmbunătățirea condițiilor de siguranță în subteran, corespunzătoare tehnicii moderne, cît și în direcția îmbunătățirii metodelor și utilajelor de extragere a cărbunilor prin exploatare la suprafață și, îndeosebi, în direcția experimentării și generalizării de metode moderne de valorificare superioară [5].

În această lumină, programul de energie al României se înscrie hotărît în tendințele citate mai sus, stipulînd, așa cum se cunoaște, o creștere cu circa 250% a producției totale de cărbune în anul 1985 față de nivelul producției din 1978, cu triplarea extracției de lignit în aceeași perioadă. O atenție deosebită este acordată și exploatării șisturilor combustibile, care vor contribui cu o producție de circa 10 milioane tone în 1985 necesară pentru centrala termoelectrică de mare putere în curs de con-

[3] Aoki, H. "International Cooperation in World Coal Development", 11th World Energy Conference Paper, vol. 2, pp. 461—479. Sept. 8—12, 1980, Munich.

[4] Quenon, R.H. "World Coal Trade Through the Year 2000 — Rapid Growth and Political Challenges". 11th World Energy Conference Paper, vol. 1A, pp. 383—402. Sept. 8—12, 1980, Munich.

[5] Erasmus, F.C., Lenhartz, R. "Strategies for Efficient Use of Coal Reserves in the Federal Republic of Germany". 11th World Energy Conference Paper, vol. 1A, pp. 325—344. Sept. 8—12, 1980, Munich.

strucție. Acesta este, după cunoștința noastră, unul dintre cele mai ridicate ritmuri de dezvoltare ale producției de cărbune din lume și necesită, așa cum se știe, eforturi și mobilizare deosebită pentru a-l realiza în perioada de timp considerată.

Recenta Conferință Mondială a Energiei a marcat un interes mai estompat în privința amenajărilor hidroenergetice. Această situație contrastează cu realizările, planurile și programele prezentate cu ocazia Conferinței Mondiale a Energiei de la București din 1971. Explicația constă, pe de o parte, în lipsa de capital necesară unor astfel de investiții, datorită crizei economice mondiale prelungite, iar pe de altă parte, datorită terminării amenajării principalelor bazine hidrografice în țările avansate industrial. Țările în curs de dezvoltare, cu rezerve hidroenergetice mari, insuficient exploatate, nu dispun la ora actuală de forța economică proprie care să le permită realizarea unor astfel de lucrări.

O notă aparte au al'ătuit-o pozițiile Norvegiei [6], U.R.S.S. [7] și României, care consideră deosebit de importantă dezvoltarea și amenajarea integrală a potențialului hidroenergetic național prin toate mijloacele disponibile.

În acest sens, noi ne-am propus să depunem toate eforturile financiare și umane necesare, astfel încît de la utilizarea a circa 30% din potențialul hidroenergetic al țării în 1980 să ajungem la 45% în 1985 și la 65% în 1990. Aceasta se va realiza atît prin amenajarea în continuare a Dunării și a rîurilor interioare, cît și prin implementarea unui amplu program de microhidrocentrale.

Toate studiile energetice recente au arătat că energia de origine nucleară devine în mod necesar una dintre componentele de bază ale aprovizionării cu energie în viitor. Sînt de luat în considerare mai multe aspecte importante: dependența lumii a treia față de programele energetice ale țărilor industrializate; tendința unei utilizări crescute a energiei electrice în toate sectoarele economice ca vector energetic în țările industrializate; posibilitățile viitoare de aprovizionare cu petrol, care, în deceniile viitoare, vor depinde — așa cum s-a arătat — mai mult de factori politici decît de resursele existente.

Sentimentul că energia nucleară se află într-o criză de încredere nu este valabil pentru întreaga omenire: țările membre CAER și Franța au programe nucleare ambițioase pe termen lung; Marea Britanie, Spania [8] și Japonia [9], de exemplu, sînt dispuse să-și întărească programele lor nucleare, iar numeroase țări în dezvoltare, ca Argentina, Brazilia sau Coreea de Sud, își urmează cu fermitate programele lor nucleare. Viitorul energiei de origine nucleară depinde de încrederea investită în ele de responsabilii politici, de siguranța și securitatea sa, de mijloacele permițînd să se atingă obiectivele de neproliferare a armamentului nuclear și de posibilitățile de a convinge opinia publică asupra faptului că temerile actuale sînt nefundamentate. În domeniul securității nucleare și al amplasamentului, trei întrebări par a neliniști opinia publică: efectele deșeurilor radioactive asupra sănătății în timpul exploatării normale a centralelor nucleare, emisiile involuntare ca urmare a accidentelor și evacuarea, tratarea și stocarea deșeurilor radioactive cu perioadă lungă de înjumătățire [10]. Sarcina principală a comunității nucleare constă în a întări încrederea nespecialiștilor și a maselor largi în general, oferind informații obiective asupra posibilităților tehnice, incidențelor lor economice și riscurilor ce ar putea apărea în urma exploatării de durată a centralelor nuclearoelectrice.

În ceea ce privește România, în cadrul măsurilor vizînd creșterea bazei energetice, pe lîngă intensificarea utilizării cărbunilor în producția de energie electrică și termică și valorificarea potențialului hidroenergetic, construcția de centrale nuclearoelectrice ocupă un loc important. Pînă la sfîrșitul cincinalului 1981—1985 va intra în funcțiune prima centrală nuclearoelectrică cu 660 MWe, urmată de altele, astfel încît România să dispună de 3 960 MWe instalați în anul 1990 și de circa 10 500 MWe la sfîrșitul acestui secol.

Pentru deceniile viitoare, conform tabelului 4, alimentarea cu energie de origine nucleară pe plan mondial ar urma să fie asigurată, în cea mai mare măsură (90%), din reactoare tip LWR, restul fiind furnizat de reactoare tip HWR (8%) și AGR (2%), constatîndu-se o intensificare și concentrare a eforturilor tehnice și materiale a țărilor industrializate spre realizarea reactoarelor rapide reproducătoare (FBR) și reactoarelor de înaltă temperatură (HTR). Introducerea acestora va însemna reducerea deosebită a consumului de uraniu natural, la rîndul său o resursă energetică epuizabilă a planetei.

[6] Vinjar, A.G. "Electrification of Rural Areas Based on Small Scale Hydroelectric Plants". 11th World Energy Conference Paper, vol. 2, pp. 578—595. Sept. 8—12, 1980, Munich.

[7] Barburin, B.L., Bestchinsky, A.A. și Mihailov, L.P. "Role of Hydropower in Forming Territorial and Industrial Complexes". 11th World Energy Conference Paper, vol. 3, pp. 463—471. Sept. 8—12, 1980, Munich.

[8] Diaz Del Rio, E.M., Rodriguez, M.L. și Sordo, G.V. "The Nucleo-Electric Component on the Progress of the Spanish Society". 11th World Energy Conference Paper, vol. 4A, pp. 495—518. Sept. 8—12, 1980, Munich.

[9] Ikuta, T., Takei, M. "The Long-Term Energy Balance in Japan". 11th World Energy Conference Paper, vol. 4A, pp. 422—436. Sept. 8—12, 1980, Munich.

[10] Sherman, R.J. "An Industry Perspective of the United States Nuclear Power Situation". 11th World Energy Conference Paper, vol. 4A, pp. 565—575. Sept. 8—12, 1980, Munich.

Tabelul 4

Evoluția filierelor nucleare [GW_e]

Anul	Reactoare LWR		Reactoare HWR		Reactoare AGR		Total mondial
	GW_e	Creștere medie anuală %	GW_e	Creștere medie anuală %	GW_e	Creștere medie anuală %	
1985	255	↑	12	↑	13	↑	280
2000	813	6,4	53	8,3	24	4,7	890
2020	2285	↓	200	↓	65	↓	2 550

În ceea ce privește tehnologiile de îmbogățire a combustibilului nuclear, se remarcă eforturile deosebite în domeniu pentru obținerea uraniului cu grad de îmbogățire în jur de 2,5—3% în instalații cu consum redus, deci accesibile și altor țări în afara statelor dezvoltate industrial. De fapt, existența pînă în prezent a instalațiilor de îmbogățire a combustibilului nuclear numai în țările foarte dezvoltate a creat și dezvoltat un sistem complicat de relații nucleare, o dependență a celor ce primesc combustibil nuclear îmbogățit față de cei ce posedă astfel de instalații. În acest context, dezvoltarea filierei HWR este singura care permite realizarea unei independențe în domeniul aprovizionării cu combustibil a oricărei țări ce dispune de resurse de uraniu natural.

Așa cum se știe, țara noastră dispune de rezerve de uraniu natural [11], ceea ce face logică opțiunea de dezvoltare în România a filierei HWR în contextul asigurării unei independențe energetice pe termen lung.

Din tabelul 4 se observă că ritmul mediu anual de creștere a filierelor nucleare favorizează soluția HWR, lucru semnificativ ținînd seama că prognozele de acest fel provin de la surse în care filiera LWR deține ponderea absolută.

Pentru țările în curs de dezvoltare, problema energeticii nucleare rămîne încă nerezolvată chiar dacă, după cum se remarcă în tabelul 5, prognoza creșterii capacității nuclearoelectrice instalate în acestea indică ritmurile cele mai ridicate. Această observație se bazează pe faptul că nu există încă instalații nuclearoelectrice mici și nesofisticate, adecvate acestor țări, tehnologiile utilizate la construcția acestora fiind inaccesibile. Singura modalitate de ieșire din impas ar fi regîndirea acestor tehnologii pentru țările în care urmează să le aplice, pentru a le face adecvate forțelor și mijloacelor locale disponibile.

În acest fel, în România încercăm să mărim gradul de integrare a producției de echipament nuclear în așa fel ca încă de la a doua unitate nucleară contribuția industriei românești să fie din ce în ce mai mare.

Tabelul 5

Prognoza dezvoltării capacității nuclearoelectrice instalate în centrale, în perioada 1979—2020

[GW_e]

	1979	1985	2000	2020	Creștere medie anuală, %		
					1979—1985	1985—2000	2000—2020
Țări occidentale industrializate	109	235	610	1 390	13,6	6,5	4,2
Țări socialiste	12	30	200	770	16,4	13,3	7,0
Țări în curs de dezvoltare	4	15	80	390	24,5	11,7	8,3
Total mondial	125	280	890	2 550	14,3	7,9	5,4

În ceea ce privește sursele noi, inepuizabile sau reînnoibile, de energie, au avut loc dezbateri importante. Dintre acestea, pe primul loc s-a situat energia solară, la care utilizările cele mai frecvente sînt, în prezent, în domeniul producerii de căldură. Pentru producerea energiei electrice se vizează fie ciclul termodinamic (energie solară — căldură — energie mecanică — energie electrică), fie efectul fotovoltaic, pentru conversia directă (energie solară — energie electrică). În prezent, nici una dintre filiere nu este competitivă cu soluțiile de producere prin mijloace convenționale a energiei electrice, motiv pentru care se fac cercetări intense pentru atingerea competitivității lor [12].

Dintre celelalte surse noi, energia geotermală este, în prezent, singura competitivă cu soluțiile clasice de producere a energiei electrice și căldurii, utilizarea acesteia fiind limitată însă la zonele geografice bogate în această resursă.

În ceea ce privește valorificarea biomasei, se constată că pentru zonele geografice cu climat temperat, aceasta va fi orientată cu precădere spre obținerea de combustibili sintetici. Energia valurilor s-ar putea utiliza convenabil, sub aspect tehnico-economic, doar în cîteva regiuni ale globului, în care caracteristicile regimurilor dinamice permit o exploatare avantajoasă. Energia vîntului este, în schimb, accesibilă pe scară largă, utilizarea ei intensivă fiind condiționată doar de dezvoltarea tehnologiilor specifice [13].

[11] "Survey of Energy Resources, 1980". 11th World Energy Conference, Sept. 8—12, 1980, Munich.

[12] Toth, G., Causse, J.P. și Claverie, M. "Solar Energy Production: French Thermodynamic Power Stations". 11th World Energy Conference Paper, vol. 1A, pp. 665—683. Sept. 8—12, 1980, Munich.

[13] Stoy, B. și Feustel, J.E. "Solar Energy and Wind Energy — Contribution to Covering Future Energy Demand". 11th World Energy Conference Paper, vol. 1A, pp. 587—611, Sept. 8—12, 1980, Munich.

S-a subliniat caracterul dispersat al surselor noi, puterile specifice unitare reduse, ceea ce favorizează obiective de valorificare de putere mică cu producţie descentralizată de energie electrică şi/sau căldură. Cu tot interesul şi speranţele arătate de omenire pentru noile surse de energie, conferinţa s-a manifestat cu prudenţă în legătură cu viitorul rezervat acestora. S-a considerat că, deşi trebuie depuse eforturi materiale şi umane din ce în ce mai importante pentru cercetarea noilor surse, ponderea lor va deveni semnificativă abia spre sfîrşitul secolului. Prevederea unor contribuţii mai substanţiale a noilor surse la acoperirea balanţelor energetice riscă să nu fie realizată şi să producă perturbaţii în viaţa economică şi socială a ţărilor respective. Dimpotrivă, în cazul unor realizări accelerate în introducerea noilor surse, se va putea face faţă relativ uşor unor astfel de situaţii, care ar apărea mai favorabile decît prevederile iniţiale.

În legătură cu aceasta, în programul de energie al României se arată că trebuie făcute eforturi deosebite în utilizarea surselor geotermală, solară, eoliană şi biomasei, iar ca noi tehnologii se insistă asupra introducerii pompelor de căldură pentru utilizarea căldurii-deşeu, independent sau cuplate la reţelele de termoficare. Pînă în prezent, soluţii de utilizare a căldurii solare cu captatoare solare plane sau cu concentrare, a apelor geotermale, a biogazului şi a energiei eoliene sînt implementate în peste 400 obiective din ţara noastră.

Încălzirea solară a apei calde menajere cîştigă tot mai mult teren, fiind pînă în prezent soluţia în curs de implementare în peste 1 400 apartamente din Timişoara, Constanţa şi în localităţi din alte cinci judeţe ale ţării, cu ajutor financiar de la buget. În Bucureşti, în anul 1981, se va termina construirea a peste 1 000 apartamente în zona netermoficabilă Băneasa, dotate cu acelaşi tip de soluţie.

În ceea ce priveşte structura combustibilului economisit la nivelul anului 1985 prin folosirea surselor noi de energie, 22,5% va fi în industrie (procese de uscare a lemnului şi ceramicii, spălări, preîncălziri, răciri, încălzire spaţii etc.), 24% în agricultură (uscări, deshidratări, păstrare hrană, spălare etc.) şi mai mult de 50% în sectorul casnic-edilitar (în special pentru încălzirea apei sanitar-menajere şi parţial a spaţiilor).

O atenţie deosebită se va acorda perfecţionării rapide a soluţiilor tehnologice pentru valorificarea surselor noi, ca şi introducerii în producţia de serie a tuturor componentelor necesare pentru mărirea competitivităţii acestora. În aceste condiţii, programul de energie al României îşi propune ca pînă în anul 1990 potenţialul geotermal să fie amenajat în proporţie de circa 90%, cel solar de 20%, iar cel eolian de 4—5% — cu observaţia că acesta din urmă va contribui în special la producerea de energie electrică.

În domeniul pompelor termice, cea de-a XI-a Conferinţă Mondială a Energiei a insistat asupra avantajelor soluţiei [14, 15] atît în procese tehnologice, cît şi integrate în sisteme de termoficare [16].

În ceea ce ne priveşte, rezultatele obţinute pînă în prezent în construcţia de pompe termice de puteri pînă la 0,7 Gcal/h au demonstrat fezabilitatea şi economicitatea soluţiilor practice. Proiecte de pompe termice de pînă la 10 Gcal/h sînt în studiu, în special în legătură cu utilizarea în reţelele de termoficare.

Conferinţa a manifestat, pentru prima dată în istoria sa, un interes generalizat faţă de subiectul termoficării, deşi rapoarte în acest domeniu au fost prezentate încă din anul 1956, cu ocazia sesiunii plenare a Conferinţei de la Viena. Ţara noastră, cu o veche tradiţie şi experienţă în acest domeniu (Bucureştiul dispune de cea de-a doua reţea de termoficare, ca mărime, din lume), va continua — în conformitate cu programul de dezvoltare energetică — să dezvolte acest sistem la toate unităţile energetice pe combustibil clasic ce le va construi în viitor.

Ceea ce conferinţa nu a relevat este legătura intrinsecă între tehnologiile „grele" de producere a energiei şi tehnologiile „uşoare", specifice surselor noi de energie. Mai mult decît atît, putem spune că s-a insistat aproape exclusiv asupra problemelor surselor şi tehnologiilor „grele", neglijînd faptul că în foarte multe ţări ale lumii nu există şi nu vor exista încă mult timp condiţii pentru implementarea substanţială a unor asemenea tehnologii de producere a energiei.

Programul de dezvoltare energetică a României, accentuînd problema surselor noi de energie alături de cea a surselor convenţionale, utilizînd tehnologii „grele", indică tendinţa de realizare a unui echilibru, la un nivel corespunzător tehnologiei şi tradiţiei tehnice româneşti, între tehnologiile „grele" şi cele „uşoare" de producere a energiei, în scopul evitării unor şocuri în perioada de tranziţie post-petrolieră.

Cea de-a XI-a Conferinţă Mondială a Energiei a insistat, în domeniul cooperării internaţionale, asupra schimburilor comerciale de com-

[14] "Using Heat Pumps in District Heating Systems". 11th World Energy Conference Paper, vol. 1B, pp. 197—217. Sept. 8—12, 1980, Munich.

[15] Pietermaat, F. şi Geeraert, B. "Energy Conservation and Drying by Heat Pump". 11th World Energy Conference Paper, vol. 1B, pp. 255—274. Sept. 8—12, 1980, Munich.

[16] Varvarsky, V.S., Kovyliansky, J.A., Filkov, V.M. şi Yankov, V.C. "Activities on the Construction of a Powerful Heat Pump Station in Moscow". 11th World Energy Conference Paper, vol. 3, pp. 455—462. Sept. 8—12, 1980, Munich.

bustibil primar (gaze naturale și cărbuni) între diversele țări sau grupuri de țări, cît și în domeniul pregătirii tehnice a specialiștilor din țările în curs de dezvoltare și a exportului de tehnologii avansate de la țările dezvoltate spre țările în curs de dezvoltare.

Considerăm acest mod de tratare a problemei cooperării internaționale ca nesatisfăcător, un exemplu mult mai bun constituindu-l legăturile în domeniul energiei între țările din Europa de Est și de Vest [17], în care există pînă acum șase domenii distincte de cooperare : explorarea rezervelor de petrol, gaze și cărbune ; tehnologii de rafinare, inclusiv echipamente și operații de service ; echipament și componente pentru transportul efluenților energetici ; tehnologii petrochimice ; tehnologii pentru centrale electrice clasice și nucleare și cooperarea științifică și tehnică.

În ceea ce privește România, în al cărui program de dezvoltare energetică cooperării internaționale i s-a prevăzut un capitol aparte, se relevă că în momentul de față țara noastră acordă asistență tehnică în domeniile minier, geologic, petrolier, ca și în alte sectoare conexe, pe baza acordurilor încheiate cu zeci de țări în curs de dezvoltare. Aceasta se petrece în condițiile în care în viața internațională asistăm la adîncirea contradicțiilor dintre diferite state și grupări de state, în care criza energetică a avut consecințe nefavorabile resimțite în toate țările lumii, inclusiv în țara noastră.

Considerăm că modul de abordare de către țara noastră a problemei cooperării internaționale în domeniul energetic reprezintă o expresie a politicii consecvente a României de colaborare activă cu țările socialiste, cu țările în curs de dezvoltare, cu toate statele lumii, de promovare a unor relații noi, de egalitate și echitate în viața internațională.

Tratarea în această manieră a problematicii resurselor energetice și de materii prime la scară mondială, subliniind, pe baza unei profunde analize a realităților lumii contemporane, necesitatea soluționării judicioase a problemelor generate de posedarea acestor resurse, de accesul la ele și de satisfacerea cerințelor de materii prime ale tuturor țărilor și evidențiind, în acest context, imperativul edificării unei noi ordini economice internaționale și al conlucrării largi a tuturor statelor lumii pentru satisfacerea cerințelor și aspirației de progres ale întregii comunități mondiale — iată contribuțiile de remarcabilă originalitate ale partidului nostru, ale secretarului său general, tovarășul Nicolae Ceaușescu. Sînt idei de largă circulație internațională, care au întrunit unanim aprecieri elogioase pe plan mondial și care evidențiază larga audiență a elementelor de esență ale politicii energetice ale statului și partidului nostru.

*

Față de cele de mai sus, rezultă clarviziunea și puterea de analiză științifică a principiilor formulate în Programele-directivă de dezvoltare a țării pentru perioada 1981—1990 și orientările principale pînă în anul 2000, aprobate de către cel de-al XII-lea Congres al Partidului Comunist Român, confirmate și elogiate — odată în plus — în ansamblul concluziilor celei de-a XI-a Conferințe Mondiale a Energiei.

Pentru România, țară socialistă în curs de dezvoltare, al cărei ritm de creștere economică este dintre cele mai ridicate din întreaga lume, strategia dezvoltării — așa cum este gîndită și orientată de către Programele-directivă — are o importanță vitală, întrucît definește făgașul ce trebuie urmat pentru realizarea imperativului fixat de conducerea partidului : plasarea, într-o perioadă relativ scurtă, a țării noastre în rîndul națiunilor dezvoltate.

Analiza prevederilor Programului-directivă în domeniul energiei în România și a prognozelor elaborate de specialiști din lumea întreagă, ca și rezultatele obținute pînă în prezent, demonstrează că în țara noastră se întreprind pași importanți pentru realizarea obiectivului nostru primordial în deceniul actual : independența energetică a patriei noastre socialiste.

Bibliografie selectivă

[1] Nicolae Ceaușescu. *Raport la cel de-al XII-lea Congres al Partidului Comunist Român*. Editura Politică, București, 1979.

[2] Nicolae Ceaușescu. *Resursele energetice și de materii prime*. Colecția : „Din gîndirea economică a președintelui României", Editura politică, București, 1980.

[3] * * * *Programul-directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei în perioada 1981—1990 și orientările principale pînă în anul 2000*. Editura Politică, București, 1979.

[4] * * * *Raportul delegației române la cea de-a XI-a Conferință Mondială a Energiei*. București, octombrie 1980.

[5] * * * *11th World Energy Conference*, vol. 1—4. Sept. 8—12, 1980, Munich.

[17] "International Co-operation in the Field of Energy Between Centrally Planned and Market Economy Countries of Europe and North America". (UNCEE Report). 11th World Energy Conference Paper, vol. 2, pp. 309—331. Sept. 8—12, 1980, Munich.

Contribuții privind gazeificarea ligniților de Rovinari *)

Prof. dr. ing. **Vasile Vulcu**
Prof. dr. ing. **Victor Hoffmann**
Prof. dr. **Horst Bednar**
Șef lucr. dr. ing. **Cornel Samoilă**
Șef lucr. dr. ing. **Gavrilă Turzo**
Asist. ing. **Sorin Munteanu** **)

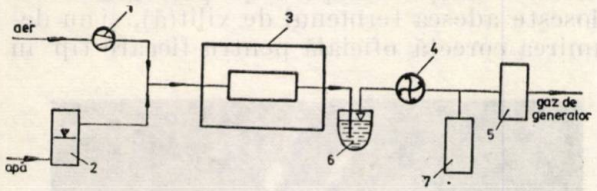
În cadrul preocupărilor privind valorificarea superioară a combustibililor solizi, precum și a unor reziduuri cu proprietăți combustibile, la Universitatea din Brașov s-au efectuat studii experimentale privind gazeificarea lor. În scopul sus-menționat s-a realizat și brevetat un generator de gaz care individualizează zona de ardere și cea de gazeificare; zona de ardere are destinația de a furniza căldura necesară menținerii, în zona de gazeificare, a temperaturii necesare procesului, cunoscut ca fiind endoterm.

Generatorul de gaz permite obținerea gazelor combustibile atît prin încălzirea combustibilului solid (distilare), cît și prin insuflarea în zona de gazeificare a aerului, a aburului sau a unui amestec al acestor agenți.

Rezultatele experiențelor au condus la stabilirea cantității și calității combustibilului gazos obținut, durata procesului, precum și consumurile specifice de combustibil solid, de aer și abur.

Experiențele au urmărit atît desfășurarea completă a gazeificării unei șarje, cît și regimul de funcționare continuă a generatorului.

În figura 1 este reprezentată schema de principiu a instalației folosite, precum și racordarea aparatelor de măsură. Debitul de gaz s-a măsurat cu debitmetre volumetrice, compoziția chimică a gazelor cu ajutorul cromatografului și a aparatului Orsat, iar puterea calorifică a combustibilului cu calorimetrul.



1-Compresor; 2-Generator de abur; 3-Generator de gaz
4-Contor; 5-Calorimetru; 6-Decantor;
7-Comatograf

Fig. 1

În figura 2 este redată variația compoziției chimice a gazelor obținute pe durata procesului de gazeificare a unei șarje, iar în figura 3 variația puterii calorifice a combustibilului, precum și a debitului specific de gaz. Pentru puterea calorifică sînt prezentate două curbe: una reprezintă valorile obținute prin măsurările calorimetrice, iar a doua corespunde puterii calorifice calculate pe baza compoziției chimice a gazelor. Unele nepotriviri se datoresc duratei mai mari de luare a probei în cazul utilizării calorimetrului față de cea a cromatografului.

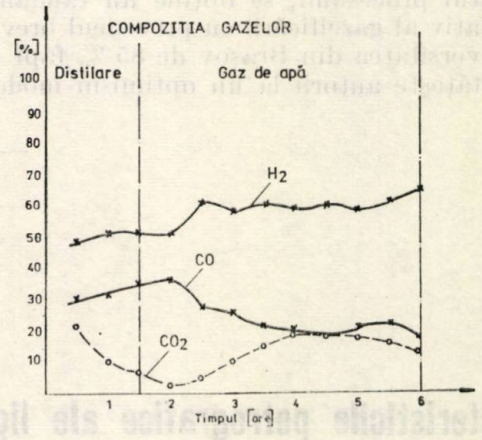


Fig. 2

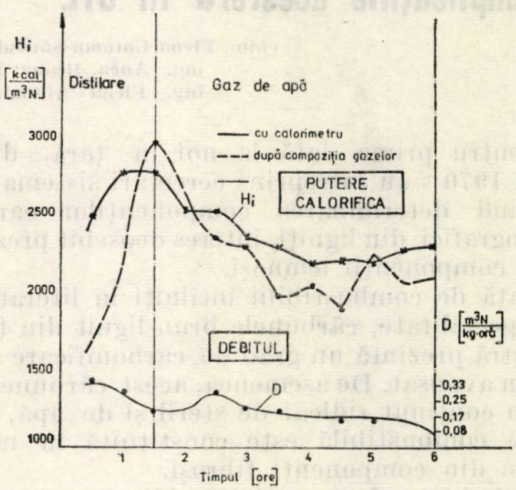


Fig. 3

Rezultatele prezentate arată variația mărimilor măsurate pe durata celor 6 ore a procesului de gazeificare — prima perioadă, de 90 minute, corespunzînd etapei de distilare, ea fiind urmată apoi de gazeificarea combustibilului cu utilizarea aburului drept agent de lucru (procedeul gazului de apă).

Din experiențele efectuate rezultă că din lignitii de Rovinari, avînd o putere calorifică inferioară de 1600—1800 kcal/kg, se poate obține un combustibil gazos cu o putere calo-

*) Comunicare prezentată la cea de-a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din România, Brașov — 4-6 decembrie 1980.

**) Autorii sînt cadre didactice la Universitatea din Brașov.

rifică medie de 2100—2400 kcal pe metrul cub normal. Durata procesului de gazeificare este de 5—6 ore, perioadă în care temperatura în zona de gazeificare trebuie menținută în intervalul de 900—1000°C.

Producția specifică de gaz obținută în timpul experiențelor a fost de 1,28 m^3 gaz/kg lignit, ceea ce corespunde unui debit specific orar de 0,213 m^3 gaz/kg combustibil și oră [1], [2].

Raportînd cantitatea de căldură conținută în gazul obținut din gazogenul experimental la căldura conținută în combustibilul utilizat în cadrul procesului, se obține un randament informativ al gazeificării cu procedeul brevetat la Universitatea din Brașov de 85%, fapt care îndreptățește autorii la un optimism moderat.

Datele experimentale obținute scot în evidență posibilitatea gazeificării ligniților din bazinul Rovinari, ele putînd servi la proiectarea gazogenelor industriale, pentru obținerea de gaze combustibile înlocuitoare ale combustibililor suport la termocentrale.

Bibliografie

[1] * * * *Valorificarea superioară a combustibililor solizi inferiori prin gazeificare.* Contract Univ. Brașov — CNST, București 1976—1980.

[2] * * * *Experimentări și calcule privind gazeificarea ligniților.* Contract Univ. Brașov — ICEMENERG, București, 1980.

Reducerea consumurilor specifice de combustibil și energie electrică în centralele electrice

Caracteristicile petrografice ale ligniților din bazinul Rovinari-Motru și implicațiile acestora în CTE*)

chim. **Elena Gatman-Săndulescu**
ing. **Anca Ileana Penu**
ing. **Elena Antoniu** **)

Pentru prima dată la noi în țară, după anul 1970 s-au întreprins cercetări sistematice privind determinarea componenților carbopetrografici din ligniți, interes deosebit prezentînd componenții lemnoși.

Față de combustibilii întîlniți în literatura de specialitate, cărbunele brun-lignit din țara noastră prezintă un grad de carbonificare mai puțin avansat. De asemenea, acest cărbune are și un conținut ridicat de steril și de apă, iar masa combustibilă este constituită în mare parte din componenți fibroși.

Avînd în vedere ponderea ridicată a acestor surse de energie primară în dezvoltarea bazei energetice din țara noastră în perspectiva deceniilor următoare, se impune ca necesară o cunoaștere mai aprofundată a calității lor. Metodele de analiză curente, care au ca parametri energetici conținutul de cenușă, umiditate și putere calorică, devin insuficiente.

În urma cercetărilor întreprinse asupra ligniților din bazinul Rovinari—Motru s-a constatat existența unui conținut mediu de steril situat în jurul valorii de 50%, un conținut de textinit și textoulminit variind de la simplu la dublu, cu valori de 12—25% din totalul materialului cărbunos, ceea ce revine la 21—43% din totalul masei combustibile.

Un criteriu important în definirea calității cărbunelui din bazinul Rovinari—Motru îl reprezintă conținutul de componenți fibroși.

Componenții lemnoși ai cărbunilor tineri sînt textinitul (fig. 1) și ulminitul cu cele două tipuri: textoulminit (fig. 2) și eu-ulminit (fig. 3) sau mai des numit, simplu, ulminit. Aceste diferențieri se fac în funcție de stadiul de gelifiere atins în procesul de geneză, iar ordinea de mai sus corespunde sensului de avansare a gelifierii. La rîndul său, textinitul poate fi, în funcție de tipul celulelor plantelor din care a luat naștere, celular sau fibros.

Pentru acești componenți petrografici se folosește adesea termenul de xilit(ă), și nu denumirea corectă oficială pentru fiecare tip în

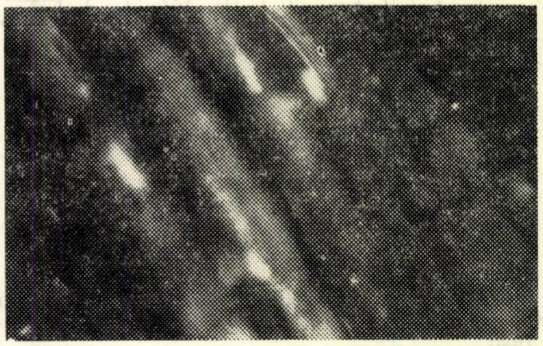


Fig. 1. Textinit fibros impregnat cu hidroxid feric.

*) Comunicare prezentată la Sesiunea tehnico-științifică ICEMENERG, București, 26—28 iunie 1980.

**) Autorii lucrează la ICEMENERG.

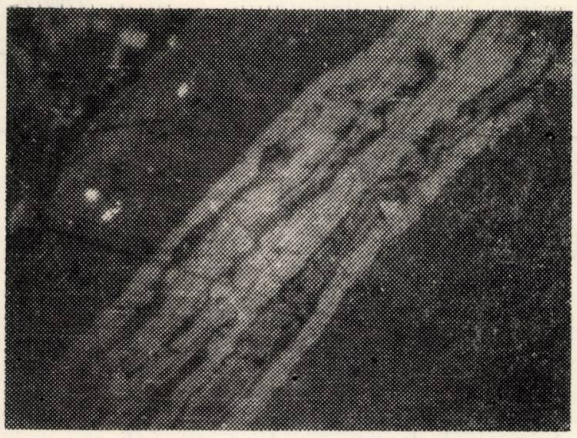


Fig. 2. Textoulminit (în centru) alături de ulminit.

Fig. 3. Bandă de ulminit (în partea de sus a imaginii).

parte ; de aici se nasc uneori confuzii care îngreuiază rezolvarea unor obiective importante în proiectarea și exploatarea utilajelor tehnologice. De aceea vom menționa că în procesul de măcinare și sitare componenții care dau naștere la dificultăți sînt texto-ulminitul și textinitul, datorită structurii fibroase și elasticității lor (fig. 1 și 2), componenți pe care îi vom denumi fibroși sau xilite fibroase, iar ulminitul îl vom denumi xilit gelifiat, conform nomenclaturii Comitetului internațional de petrografia cărbunilor.

Din studiile efectuate pe cărbuni din bazinul Rovinari—Motru se observă că pentru starea inițială conținutul mediu de textinit și texto-ulminit (xilite fibroase) se situează între valori de 6—16%. Conținutul de masă combustibilă ia valori destul de diferite ; astfel, pentru bazinul Rovinari minima este de 28,60% (cariera Gîrla), iar maxima de 35,42% (cariera Pinoasa), în timp ce pentru bazinul Motru valorile se situează între 38,65% (cariera Lupoaia) și 43,53% (mina Horăști). Iese în evidență faptul că ligniții din exploatările bazinului Motru au un conținut mai ridicat de masă combustibilă decît ligniții din bazinul Rovinari (tabelul 1).

De asemenea, raportul dintre componenții fibroși și întreaga masă combustibilă este variabil, fiind mai mare pentru bazinul Rovinari (1/3) decît pentru bazinul Motru (1/4) (tabelul 2), ceea ce denotă o dată în plus o mai mică susceptibilitate de măcinare, neavînd implicații simțitoare asupra aportului caloric al masei combustibile.

Totuși, raportat la starea de analiză, se observă că puterea calorică superioară a textinitului prezintă valori mai mari decît puterea calorică superioară a masei de bază humică, dar acest fapt nu se datorează unei carbonificări mai avansate a textinitului, ci faptului că masa de bază humică este fin impregnată cu argilă, care nu mai poate fi separată (fig. 4).

Cărbunele de Rovinari și Motru este puternic impurificat cu substanțe minerale, acestea prezentîndu-se sub formă fin dispersată (fig. 4 și 5), cît și sub formă de benzi de grosimi mai mari, circa 20—46 μm (fig. 6). Astfel, în masa cărbunelui se observă impregnații fine, observabile microscopic, cît și intercalații de benzi de argilă cu grosimi de 2—4 cm, observabile macroscopic, pelicule fine de carbonați și de hidroxizi de fier (fig. 7), intercalații de cuarț, feldspat și total subordonat pirită (fig. 5).

Tabelul 1

Compoziția masei combustibile la starea inițială a cărbunilor din bazinele Rovinari și Motru

Bazinul	Exploatarea	Componenți lemnoși				Componenți coloidali	Total componenți combustibili
		Textinit	Textoulminit	*T + TU*	Ulminit		
Rovinari	Gîrla	0,950	8,166	9,116	6,436	13,065	28,60
	Rogojelu	0,606	9,372	9,978	9,136	11,043	30,157
	Pinoasa	1,716	11,163	12,879	10,950	11,291	35,42
	Poiana	4,597	9,511	14,108	6,217	12,630	32,95
Motru	Lupoaia-mină	0,659	5,752	6,411	8,578	24,419	39,41
	Lupoaia-carieră	4,875	11,204	16,079	5,697	16,881	38,65
	Ploștina	4,879	9,363	14,243	8,990	18,521	41,75
	Horăști	2,180	8,544	10,725	8,384	24,426	43,53
	Leurda	1,733	7,401	9,135	7,797	25,758	42,70
	Roșiuța	0,617	9,016	9,633	6,533	23,505	39,67
	Motru-Vest	2,663	7,134	9,798	6,655	24,154	40,60

Tabelul 2

Compoziția masei combustibile la stare anhidră și lipsită de steril pentru cărbunii din bazinele Rovinari și Motru

Bazinul	Exploatarea	Componenți lemnoși				Comp. coloidali	Total comp. combustibili
		Textinit	Textoulminit	$T + TU$	Ulminit		
Rovinari	Gîrla	3,321	28,332	31,853	22,488	45,653	99,994
	Rogojelu	2,003	30,940	32,943	30,506	36,449	99,998
	Pinoasa	4,091	26,617	30,708	26,110	43,181	99,999
	Poiana	13,949	28,836	42,805	18,858	38,336	99,999
Motru	Lupoaia-mină	1,673	14,954	16,267	21,767	61,961	99,995
	Lupoaia carieră	12,600	28,973	41,573	14,782	43,657	100,012
	Ploștina	11,689	22,428	34,117	21,534	44,358	99,999
	Horăști	5,006	19,622	24,628	19,326	56,096	100,050
	Leurda	4,059	17,328	21,387	18,254	60,319	99,960
	Roșiuța	1,556	22,271	24,277	16,464	59,239	99,980
	Motru-Vest	6,554	17,555	24,169	16,376	59,450	99,995

Fig. 4. Particulă de masă combustibilă cu argilă fin impregnată.

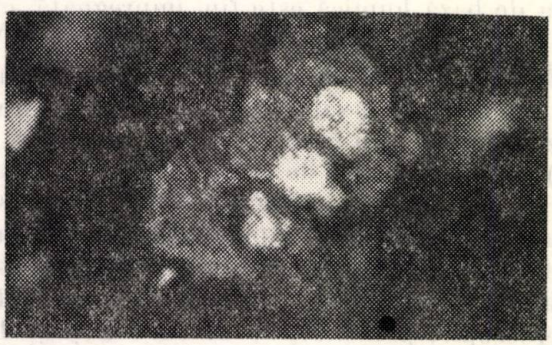


Fig. 5. Particulă de cărbune cu pirită aglomerată în cuiburi și fin diseminată.

Fig. 6. Fisură impregnată cu substanță argiloasă.

Un alt aspect care rezultă din analiza petrografică este gradul de diluție al cărbunelui, dat de raportul dintre proporția de material

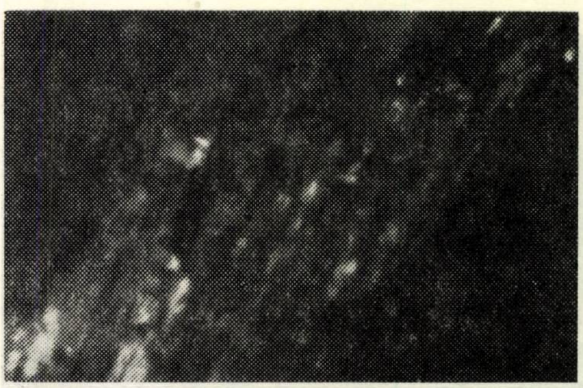


Fig. 7. Substanță minerală (hidroxid feric-lemnos) impregnată în firele unui textinit.

combustibil și proporția de steril liber. Acest raport este în strînsă legătură atît cu structura geologică a zăcămîntului (grosimea straturilor de cărbune și a intercalațiilor sterile tectonice, natura acoperișului și culcușului stratelor), cît și cu metoda și modul cum este condusă exploatarea minieră. Valorile acestui raport sînt proporționale cu valorile puterii calorice inferioare și trebuie avute în vedere la urmărirea calității cărbunelui livrat de exploatările miniere.

În consecință, din analiza carbopetrografică și chimică a probelor cercetate rezultă proprietățile specifice cărbunilor românești tineri: conținutul ridicat de umiditate și steril, asociat cu importante cantități de componenți fibroși.

Studiile asupra caracteristicilor tehnologice ale ligniților au scos în evidență dependența de conținutul de textinit și texto-ulminit a capacității de măcinare. Prin urmare, în materialul de față analizat, un alt criteriu care definește calitatea cărbunelui din bazinele Rovinari și Motru cu implicații în funcționarea instalațiilor de pregătire a prafului de cărbune îl prezintă gradul de măcinabilitate al acestor cărbuni.

Cunoașterea coeficientului de măcinabilitate prezintă interes deosebit atît pentru proiectarea morilor, cît și pentru întocmirea schemelor

optime de preparare a prafului de cărbune, impunîndu-se o serie de măsuri necesar a fi luate în cazul schimbării naturii sau calității cărbunelui.

Valorile coeficientului de măcinabilitate ale probelor de cărbune din bazinul Rovinari — Motru, determinate după metoda VTI, arată că, odată cu creșterea conținutului de textinit și texto-ulminit, rezistența la măcinare crește, așa cum este redat în tabelul 3 și figura 8.

Tabelul 3

Dependența coeficientului de măcinabilitate de componenții fibroși $(T + TU)^a$ și de raportul $\frac{(T + TU)^a}{(comb.)}$

Bazin	Exploatare	$(T + TU)^a$	$\frac{(T + TU)^a}{(comp.\ comb.)}$	M_{VTI}	Q_i^i [kcal/kg]
Rovinari	Gîrla	13,81	0,3242	1,247	1136
	Pinoasa	19,7	0,2575	0,804	1834
	Rogojelu	14,65	0,333	0,863	1322
	Poiana	21,45	0,428	0,656	1927
Motru	Lupoaia mină	10,288	0,1627	0,830	1558
	Lupoaia carieră	25,370	0,4159	0,752	1520
	Ploștina	22,874	0,3413	0,757	1443
	Horăști	17,297	0,2463	0,718	1643
	Leurda	14,813	0,2134	0,738	1593
	Roșiuța	15,269	0,2428	0,794	1524
	Motru-Vest	15,430	0,2411	0,821	1534
Cărbune bogat în $(T + TU)$		58,10	0,7217	0,602	2383
$(T + TU)$ separat		81,10	0,8501	0,408	3085

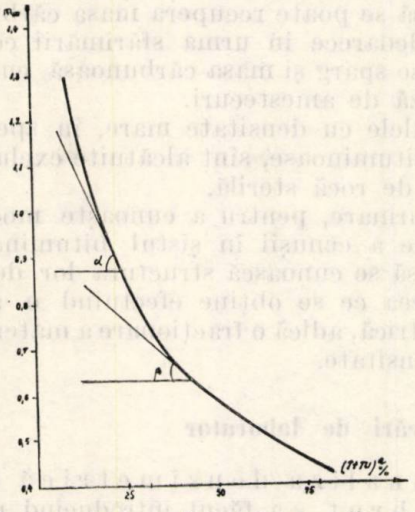


Fig. 8. Dependența coeficientului de măcinabilitate de componenții fibroși din cărbune.

Astfel, se poate observa că pentru valoarea cea mai mică a conținutului $(T + TU)^a$ de 13,81% la cariera Gîrla, se obține valoarea cea mai mare a coeficientului de măcinabilitate, de 1,247, ceea ce indică o măcinare relativ ușoară față de cariera Poiana, la care conținutul de componenți $(T + TU)^a$ este de 21,45%, iar coeficientul de măcinabilitate de 0,656. Pentru a scoate în evidență acest fapt, s-a prelucrat un cărbune bogat în xilite fibroase prin eliminarea componenților coloidali, obținîndu-se două sorturi de puritate diferită: un sort cu 58,1% $(T + TU)^a$ și un sort cu 81,1% $(T + TU)^a$. La măcinarea acestor sorturi s-au determinat coeficienții de măcinabilitate de 0,602 și, respectiv, 0,408. Valorile coeficientului de măcinabilitate au fost reprezentate într-o diagramă (fig. 8) în funcție de conținutul de xilite. Se observă alura curbei obținute, care diferă puțin ca formă, dar nu și ca sens de variație, față de curba din figura 9, care reprezintă variația coeficientului de măcinabilitate în funcție de raportul dintre xilitele fibroase și totalul de componenți combustibili. Curba din figura 9 este o dreaptă deoarece nu se mai suprapune influența conținutului de steril.

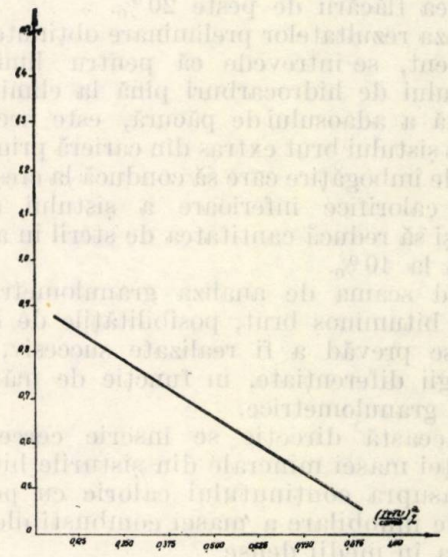


Fig. 9. Dependența coeficientului de măcinabilitate de componenții fibroși din masa combustibilă.

Acționînd în mod corect asupra acestor criterii (componenți petrografici — coeficient de măcinabilitate) ce definesc calitatea cărbunelui din bazinul Oltenia—Nord, se creează posibilități mari în asigurarea randamentelor optime ale instalațiilor termoenergetice.

Bibliografie

[1] * * * *Lexic internațional de petrografia cărbunilor* (Comitetul internațional de petrografie) — Paris, 1971.

[2] Răzeșu, S. și Nițulescu, I. *Studiu petrografic comparativ cu referire specială asupra proporției și modului de repartiție a xilitului în lignitul din bazinul Rovinari.* Institutul de geologie geofizică, București, 1977.

[3] Toncev, I. și Bohiciov, V. *Bazele arderii în centralele termoelectrice.* Energoproekt, Sofia, 1975.

[4] Gatman, E. *Cercetări privind variația coeficientului de măcinabilitate al cărbunilor inferiori cu intercalații xiloide și conținut ridicat de steril, cu aplicare la CTE.* ICEMENERG, București, 1980.

[5] Barca, F. Contract de cercetare-colaborare, Institutul politehnic București — Facultatea de tehnologie chimică, și Secția tehnologie chimică organică, București. 1980.

Ameliorarea calității șistului bituminos brut prin spălarea în medii dense*)

Ing. **Valentina Bălan**
și ing. **A. Crețu** **)

Valorificarea combustibililor inferiori cu procentaj din ce în ce mai ridicat de steril și găsirea unor noi surse de energie primară constituie o problemă prioritară pentru energetica românească.

Prevederile din proiecte, precum și experimentările făcute cu arderea șisturilor fără îmbogățire prealabilă conduc la estimarea unui consum mediu de păcură de adaos pentru susținerea flăcării de peste 20%.

Pe baza rezultatelor preliminare obținute pînă în prezent, se întrevede că pentru limitarea consumului de hidrocarburi pînă la eliminarea completă a adaosului de păcură, este necesară trecerea șistului brut extras din carieră printr-un proces de îmbogățire care să conducă la creșterea puterii calorifice inferioare a șistului supus arderii și să reducă cantitatea de steril în acesta cu pînă la 40%.

Ținînd seama de analiza granulometrică a șistului bituminos brut, posibilitățile de îmbogățire se prevăd a fi realizate succesiv, prin tehnologii diferențiate, în funcție de mărimea claselor granulometrice.

Pe această direcție se înscrie cercetarea influenței masei minerale din șisturile bituminoase asupra conținutului caloric cu posibilitate de înnobilare a masei combustibile prin spălarea în medii dense.

1. Calitatea masei minerale a șisturilor

Șisturile bituminoase din țara noastră sînt definite ca fiind un sediment mineral impregnat cu substanțe organice. Masa minerală, în proporție de circa 75%, este un amestec de granule cu densitate diferită, în funcție de conținutul de cenușă.

Cunoașterea structurii densimetrice a șisturilor este de o importanță deosebită atît pentru studiul posibilităților de valorificare din punct de vedere energetic, cît pentru aprecierea funcționării unor instalații.

Cenușa în șist se datorește masei minerale și ea există sub două forme:

— cenușa de constituție, dispersată în toată masa materialului ca urmare a naturii materiei inițiale din care au provenit șisturile, precum și a modului de formare a zăcămîntului. Prezența în cantități mari a acestei forme de cenușă conferă produsului energetic comportări nedorite la spălare în medii dense;

— cenușa de adiție care se datorește unor cantități de rocă sterilă înglobate în masa materialului în timpul exploatării. Ea nu influențează asupra comportării la spălare a șisturilor.

Prezența cenușii este cauza densității diferite a granulelor de șist.

În granulele curente cenușa apare în cantități reduse, sub formă de cenușă de constituție; fracțiunile densimetrice respective au densitate redusă, 1,3—1,9 kgf/dm³.

Îmbogățirea în cenușă a granulelor conduce la mărirea densității lor, apărînd așa-numitele amestecuri care acoperă un interval larg, în funcție de proporția de masă minerală, care este fie dispersată în masa granulelor, fie sub formă de benzi de rocă sterilă stratificată alternativ cu benzi de șist cărbunos sau șist bituminos curat, ca urmare a condițiilor de formare a zăcămîntului.

Din amestecurile datorate primei forme de cenușă nu se poate recupera masa cărbunoasă curată, deoarece, ca urmare a structurii omogene — indiferent de gradul de sfărîmare —, granulele rezultate vor avea aceeași densitate cu granulele supuse sfărîmării. În schimb, din amestecurile datorate celei de-a doua forme de cenușă se poate recupera masa cărbunoasă curată deoarece în urma sfărîmării concrescențele se sparg și masa cărbunoasă curată se eliberează de amestecuri.

Granulele cu densitate mare, în special la șisturi bituminoase, sînt alcătuite exclusiv din granule de rocă sterilă.

Prin urmare, pentru a cunoaște modul de repartiție a cenușii în șistul bituminos este necesar să se cunoască structura lor densimetrică, ceea ce se obține efectuînd o analiză densimetrică, adică o fracționare a materialului după densitate.

2. Încercări de laborator

2.1. Analiza densimetrică a șistului brut s-a făcut introducînd pe rînd proba de șist bituminos în lichide cu densități diferite. Granulele cu densitate mai mică decît a lichidului plutesc la suprafață, iar cele cu densitate mai mare cad la fund. Pentru lucrările de laborator s-au folosit lichide organice (bromoform 2,97 kgf/dm³ și tetraclorură de carbon 1,9 kgf/dm³) utilizate inseriat, în cuve de circa 12 l. Greutatea probei de analizat este de 2—4 kg, fiecare cuvă servind pentru sepa-

*) Comunicare prezentată la cea de-a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor, Brașov, 4—6 decembrie 1980.

**) Ing. Valentina Bălan este cercetător științific principal la ICEMENERG; A. Crețu este inginer la același institut.

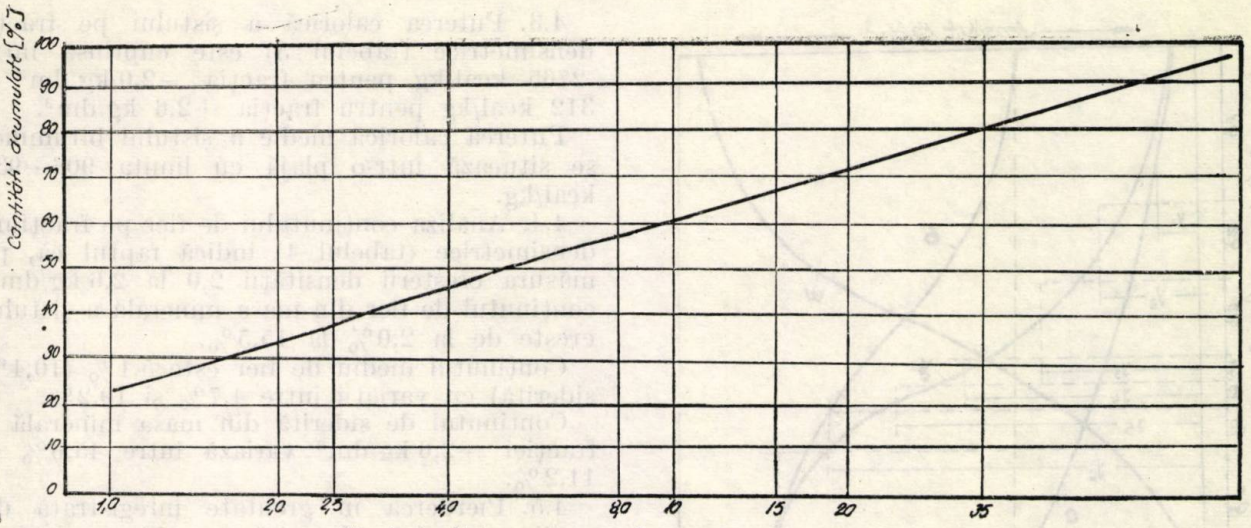


Fig. 1. Analiza granulometrică a șistului bituminos Anina.

rarea la o densitate. Pentru șisturi bituminoase s-au utilizat 4 cuve; fracțiile densimetrice (−2; 2,0−2,3; 2,3−2,6; +2,6 kgf/dm³).

2.2. S-au determinat: conținutul de cenușă — A^{anh} în produsul ușor (îmbogățit în putere calorică) și în steril (evacuat), puterea calorică — Q_i^i și conținutul de fier în aceleași fracții.

2.3. Determinarea compoziției granulometrice a fost stabilită pentru șistul brut sort 0−100 mm pentru clasele granulometrice principale (tabelul 1 și fig. 1).

Tabelul 1

Analiza granulometrică a șistului bituminos

Clasa mm	Cantitatea %	Cenușă %	Cantitatea cumulată
+100	4,4	68,1	100,0
100−35	14,0	75,0	95,6
35−20	9,5		81,6
20−15	9,1		72,1
15−10	6,6		67,0
10−8	3,4	74,6	60,4
8−4	9,5		57,0
4−2,5	10,0		47,5
2,5−1	13,6		37,5
−1	23,9	74,7	23,9
TOTAL	100,0	74,5	

3. Calculul rezultatelor probabile ale spălării. Curbele de spălare în medii dense

Aceste curbe indică ce se poate obține teoretic prin spălarea șisturilor. Curbele se construiesc pe baza analizei densimetrice combinate cu analizele de cenușă. Rezultatele se trec într-o tabelă (tabelul 2) servind pentru calculul curbelor de lavabilitate care sînt apoi reprezentate într-o diagramă (fig. 2).

a) Curba elementară a șistului, sau curba *Y*, arată dependența între diferite fracțiuni densimetrice și cenușa lor.

b) Curba integrală a șistului, sau curba *C*, fixează relația ce există, într-un punct dat, între suma unor fracțiuni densimetrice (începînd cu cele ușoare, pînă la punctul considerat) și cenușa medie a sumei.

c) Curba integrală a sterilului din șist sau curba care reprezintă relația ce există într-un punct dat între suma unor fracții densimetrice (începînd cu cele grele pînă la punctul considerat) și cenușa medie a sumei.

d) Curba densității, sau curba *G*, indică pentru fiecare densitate cantitatea de material ce poate fi separată.

Tabelul 2

Curba medie de spălare a șistului bituminos

Densitatea kg/dm³	Cantitatea %	Cenușa A^{anh}	Cantitatea cumulată	Cifra de cenușă	Cifra de cenușă cumulată	Ordonata curbei *X*	Cenușa produs ușor	Cifra de cenușă cumulată	Cenușa produs greu
−2,0	13,7	38,9	13,7	802,82	802,82	6,8	58,6	7894,76	78,9
2,0−2,3	35,3	77,1	49,0	2721,63	3524,45	31,5	71,9	7091,94	82,2
2,5−2,6	39,9	84,8	88,9	3383,52	6909,97	69,0	77,7	4370,31	83,7
+2,6	11,1	88,9	100,0	986,79	7894,76	94,3	78,9	986,76	88,9

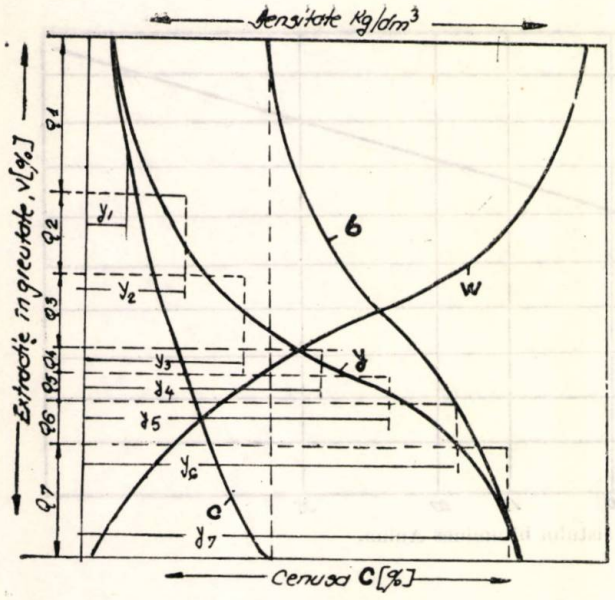


Fig. 2. Date de bază rezultate din curbele de lavabilitate

4. Rezultate și discuții

4.1. Privind compoziția granulometrică a șisturilor bituminoase, se constată că ponderea clasei +100 mm este extrem de redusă, reprezentînd 4,4%, clasa 20—100 mm reprezentînd 23,5%, iar clasa cu ponderea cea mai mare este clasa 1—10 mm, care reprezintă 48,2%; clasa de șlam 0—1 mm reprezintă 23,9%.

4.2. Conținutul de cenușă mediu al probei a fost de 74,5—78,9%, relativ uniform distribuit în toate clasele.

Cenușa cu șist bituminos pe fracții densimetrice este cuprinsă între 58,9% la fracția —2,0 kg/dm³ și 88,9% pentru fracția +2,6 kg/dm³ (fig. 2 și tabelul 2).

4.3. Puterea calorică a șistului pe fracții densimetrice (tabelul 3) este cuprinsă între 2765 kcal/kg pentru fracția —2,0 kg/dm³ și 312 kcal/kg pentru fracția +2,6 kg/dm³.

Puterea calorică medie a șistului bituminos se situează într-o plajă cu limita 906—930 kcal/kg.

4.4. Analiza conținutului de fier pe fracțiuni densimetrice (tabelul 4) indică faptul că, pe măsura creșterii densității 2,0 la 2,6 kg/dm³, conținutul de fier din masa minerală a șistului crește de la 2,0% la 15,5%.

Conținutul mediu de fier este 5,1% (10,4% siderită) cu variații între 4,7% și 19,2%.

Conținutul de siderită din masa minerală a fracției +2,6 kg/dm³ variază între 45,6% și 11,2%.

4.5. Pierderea în greutate înregistrată de analiza termică, datorită reacțiilor cu efect endoterm ale compușilor din steril, se situează în limita 16,6—26,6%.

Pentru eliminarea CO_2 din siderită (CO_3Fe) este necesar, după formula (1), un consum caloric de 121 kcal/kg $FeCO_3$.

$$FeCO_3 + 14050 \text{ kcal/kmol} = FeO + CO_2 \quad (1)$$

Rolul pe care îl are această reacție endotermă, cît și cele secundare parțial endoterme, parțial exoterme, în acțiunea generală asupra scăderii conținutului caloric al șisturilor bituminoase, este demonstrat numai pe baza experimentărilor. Aceasta se datorește faptului că componentele volatile ale substanței anorganice din sterilul de șist sînt funcție de temperatură, de atmosfera din focar și de timp.

Concluzii

1. Evitarea scăderii puterii calorice a combustibililor inferiori (șisturi bituminoase) în pro-

Tabelul 3

Curba medie de variație a conținutului caloric al șistului bituminos

Densitatea kg/dm³	Cantitatea %	Putere calorică Gcal/t	Cantitatea cumulată	Cifra de putere calorică	Cifra de putere calorică cumulată	Ordonata curbei X	Conținut caloric în produs ușor	Cifra de putere calorică cumulată	Conținut caloric în produs greu
—2,0	13,7	2765	13,7	37,8805	37,8805	6,8	2,765	92,9552	0,930
2,0—2,3	39,3	1019	49,0	35,9707	73,8512	31,3	1,507	55,0747	0,638
2,3—2,6	39,9	0,392	88,9	15,6408	89,492	69,0	1,007	19,104	0,374
+2,6	11,1	0,312	100,0	3,4632	92,9552	94,5	0,930	3,4623	0,312
Total	... 100,0	0,930							

Tabelul 4

Curba medie de variație a conținutului de Fe din șistul bituminos

Densitatea kg/dm³	Cantitatea %	Conținut de Fe	Cantitatea cumulată	Cifra de Fe	Cifra de Fe cumulată	Ordonata curbei X %	Conținutul de Fe în produs ușor	Cifra de Fe	Conținutul de Fe în produs greu
—2,0	13,7	2,0	13,7	27,4	27,4	6,6	2,0	507,46	3,1
2,0—2,3	35,3	3,3	49,0	116,49	143,89	31,3	2,9	480,06	5,7
2,3—2,6	39,9	4,8	88,9	191,52	335,41	69,0	3,8	363,57	7,1
+2,6	11,1	15,5	100,0	172,05	507,46	94,3	5,1	172,05	15,5

cesul de ardere din focar, datorită compușilor din steril, impune o preparare uscată prealabilă la o densitate apropiată de 2,6 kg/dm³.

2. Prin separarea a 11,1% din șistul brut la densitate +2,6 kg/dm³ s-a constatat că este posibil teoretic să se elimine 32,1% siderită. Produsul energetic reprezintă în acest caz 88,9% din alimentare cu conținut de cenușă 77,7% și o putere calorică crescută (respectiv 1007 kcal/kg de la 906 kcal/kg).

3. Pierderea calorică în sterilul evacuat este mică, sub 3% (respectiv 312 kcal/kg).

4. Concomitent cu creșterea puterii calorice a șistului se realizează și scăderea conținutului de fier de la 5,1 la 3,4%. Fracția grea +2,6 kg/dm³ are un conținut de siderită de 32,1%.

Lucrările privind tematica expresă sînt în curs de desfășurare pentru metodele de separare pe cale umedă și uscată, în vederea găsirii unei soluții cît mai economice.

La alegerea variantei tehnologice optime de îmbogățire se va ține seama de proporția creșterii puterii calorifice inferioare a șistului îmbogățit, de posibilitățile de recuperare maximă a cantității de căldură din șistul brut, de posibilitățile de eliminare a sterilului în cantități cît mai mari, dar cu pierderi calorice minime, precum și de efectele pozitive ale arderii unui șist îmbunătățit, respectiv reducerea hidrocarburilor.

Bibliografie

[1] Bălan, V. *Utilizarea modelelor matematice pentru stabilirea caracteristicilor energetice ale șisturilor pentru centralele termoelectrice.* În: Energetica 28, nr. 1—2, 1980.

[2] * * * *Analiza de laborator pentru stabilirea compoziției densimetrice pentru noua probă de combustibil solid cu masă minerală ridicată, în vederea separării sterilului, și influența asupra conținutului caloric.* ICPMC Petroșani, 37/80.

[3] * * * *Încercări de laborator asupra conținutului mineral și stabilirea influenței acestuia asupra conținutului caloric.* ICEMENERG, 1980.

[4] Bălan, V. *Influența masei minerale a combustibililor asupra condițiilor de funcționare a cazanelor.* Comunicarea III — Conferința internațională, Tallin, 23—25 aug. 1980.

Reducerea consumurilor proprii tehnologice în rețelele electrice

Metodă de calcul pentru determinarea regimului economic de funcționare a transformatoarelor

Ing. G. Marinescu *)

Pentru stabilirea puterilor nominale ale transformatoarelor, se elaborează în prealabil, pe baza prescripțiilor de proiectare sau a instrucțiunilor de exploatare, mai multe soluții raționale.

Puterile nominale optime ale transformatoarelor se determină utilizînd un criteriu de calcul care ierarhizează soluțiile raționale, potrivit eficienței lor economice, astfel că ele vor îndeplini simultan exigențele tehnice și cele economice.

În acest scop, se va căuta, în cele ce urmează, să se stabilească o metodă și un model de calcul cu ajutorul cărora să se poată aplica criteriile economice care răspund cerințelor și particularităților formulate pentru o anumită etapă de dezvoltare a sistemului energetic.

Criteriul de analiză a eficienței economice pentru obiectivele energetice este normat [1]; totuși, uneori, apare necesitatea de a examina problema optimizării puterilor nominale ale transformatoarelor și sub alte aspecte, ca, de exemplu:

— cheltuielile minime pentru puterea și energia pierdută;

— pierderi minime de energie;

— pierderi minime de putere.

Pentru ca modelul de calcul să poată fi aplicat la toate criteriile menționate, precum și în scopul evidențierii ponderii și influenței factorilor componenți (rata anuală de creștere a sarcinii; pierderile în fier și bobinaje; costul energiei electrice; durata anuală de pierderi maxime; cheltuielile cu întreținerea, reviziile și reparațiile; consumul tehnologic pentru ventilație etc.) asupra puterilor nominale optime ale transformatoarelor, s-a căutat să se stabilească un model general de calcul care să poată fi apoi particularizat în funcție de cazurile concrete examinate.

*

În cercetările efectuate pînă în prezent, pentru unitățile destinate posturilor de transformare, s-a pornit de la premisa potrivit căreia valorile pierderilor în gol și în scurtcircuit, ca și costul transformatoarelor din cadrul unei serii sînt proporționale cu puterea acestora la exponentul 3/4. Se determină astfel un factor de încărcare mediu pe serie, k_{vm}, cu ajutorul căruia se calculează puterea nominală optimă în funcție de sarcină.

$$P_{no} = \frac{S_v}{k_{vm}}$$

În schimb, pentru seriile de transformatoare de 110—220 kV, executate în țară, premisa enunțată nu este riguros exactă, fapt care conduce, uneori, la abateri importante. Astfel,

*) Ing. George Marinescu lucrează la ISPE.

din analiza efectuată asupra mai multor serii de transformatoare a rezultat [2] că, recalculînd caracteristicile fiecărui transformator cu valorile medii obținute pe serie conform premisei menționate, vor rezulta abateri de circa ±15% ale valorilor de calcul în raport cu mărimile reale ale acestor caracteristici.

Datorită acestor abateri, utilizarea factorului de încărcare mediu pe serie pentru determinarea puterii nominale optime a transformatoarelor constituie o metodă aproximativă. Ca exemplu, în figura 1 este prezentat factorul de încărcare mediu pentru seria de transformatoare de 10—63 MVA 110—116/5,4—22kV, precum și factorii de încărcare corespunzători fiecărei unități din cadrul seriei.

Din figura 1 rezultă că, în unele cazuri, abaterile dintre factorul de încărcare mediu pe serie și factorii de încărcare reali ai transformatoarelor din seria respectivă pot ajunge pînă la 10—15% (de exemplu transformatorul de 25 MVA).

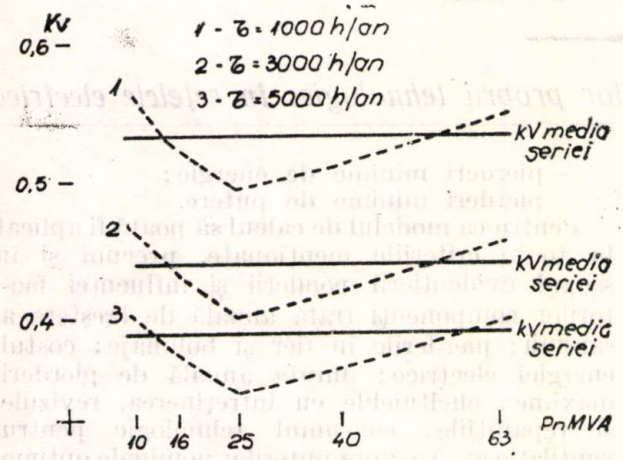


Fig. 1. Factorul de încărcare mediu pentru seria de transformatoare de 10—63 MVA, 110—116/5,5—22 kV și factorii de încărcare ai unităților componente.

În plus, premisa de mai sus restrînge limitele de aplicare a metodei de calcul, permițînd aplicarea ei numai la serii unitare de transformatoare, și nu la unități singulare sau la analiza economică comparativă a unităților din cadrul unor serii diferite.

O metodă de calcul, mai exactă, pentru alegerea puterii transformatoarelor sau a intervalului de timp cît acestea pot funcționa, în mod economic, pe un amplasament dat, în condițiile creșterii sarcinii, poate fi elaborată plecînd de la următoarele premise:

— puterea corespunzătoare pierderilor în fier și bobinaj și a consumului tehnologic pentru ventilație va fi instalată în sistem în anul precedent anului în care apar aceste pierderi ca urmare a funcționării transformatorului și a creșterii sarcinii;

— costul unității de putere instalată în sistem, pentru a acoperi pierderile în transformator, este format din costul puterii instalate în centralele electrice și costurile necesare executării instalațiilor pentru transportul acesteia la treapta de tensiune corespunzătoare înfășurării primare;

— se neglijează consumul tehnologic și pierderile de putere în rețele aferente transportului de energie pentru acoperirea pierderilor din transformator;

— costurile de investiții și pierderile de putere și energie ale transformatoarelor vor fi calculate pentru intervalul de timp cît acestea funcționează pe amplasamentul considerat;

— cheltuielile anuale pentru revizii, întreținere și reparații vor fi luate în calcul printr-o cotă procentuală raportată la costul de investiții al transformatorului.

Notațiile folosite în lucrare au următoarele semnificații:

CTA — cheltuielile totale actualizate pentru instalarea și funcționarea unui transformator;

d — durata de execuție și montaj a transformatorului, în ani;

d_1 — durata de instalare în sistem (în centrale și rețele) a puterii corespunzătoare pierderilor de putere în transformator, în ani. În cele ce urmează se consideră $d = d_1$;

D — durata de viață (normată) a transformatorului, în ani;

δ — investiția specifică pentru puterea instalată în centralele electrice și în rețele pentru transportul acesteia pînă la treapta de tensiune la care funcționează înfășurarea primară a transformatorului, în lei/kW;

e — valoarea de calcul a energiei electrice la treapta de tensiune la care este cinectată înfășurarea primară a transformatorului, în lei/kWh;

$E(d)$ *) — operator de actualizare a investițiilor necesare execuției și montajului transformatorului

$$E(d) = \sum_{t=1}^{d} (1 + i)^{-t} = \frac{(1 + a)^t - 1}{i\,(1 + i)^t}$$

în care i și t au semnificațiile de mai jos;

$E(d_1)$ *) — operator de actualizare a investițiilor necesare pentru instalarea în sistem a puterii corespunzătoare pierderilor în transformator; se calculează cu relația de mai sus. În cele ce urmează se consideră $d = d_1$;

$E(d + N)$ *) — operator de actualizare a cheltuielilor anuale de exploatare (consumuri tehnologice și cheltuielile pentru lucrările de întreținere, revizii și reparații) pe durata de funcționare a transformatorului; se calculează cu relația de mai sus;

i — rata de actualizare;

I — investiția necesară pentru execuția și montajul transformatorului, în lei;

k — cheltuielile anuale de întreținere, revizii, reparații curente și capitale, în procente din investiția I;

n, m — numărul de transformatoare identice cuprinse în variantele analizate;

P_{n1}, P_{n2} — puterile nominale ale transformatoarelor analizate, în kVA;

N — intervalul de timp cît transformatorul funcționează în condiții economice pe un amplasament oarecare, în ani;

*) Operatorii de actualizare $E(d)$; $E(d_1)$ și $E(d + N)$ s-au utilizat admițînd ipoteza că pe duratele respective cheltuielile sînt eșalonate în mod egal pe ani.

P_0 — pierderile de putere în fierul transformatorului, în kW;
P_v — puterea instalației de ventilație, în kW;
P_{sc} — pierderile de putere în bobinaj, în kW;
r — rata medie anuală de creștere a sarcinii, în procente din sarcina inițială;
s — treapta de putere între capacitățile succesive ale transformatoarelor unei serii (la seriile existente în R.S.R., cu unele excepții, $s = 1{,}6$);
S_{v1} — sarcina transformatorului în primul an de funcționare, în kVA;
t — anul curent
τ — durata anuală de pierderi maxime, în ore/an.

Pentru început *) se stabilește ipoteza simplificatoare cu ajutorul căreia se determină intervalul de timp N, în care un transformator, de putere P_{n1}, va putea fi menținut, în condiții de eficiență economică, pe un amplasament dat, în cazul creșterii sarcinii inițiale S_{v1} cu o rată medie anuală r, aplicînd relația (1).

$$N = \frac{\log s}{\log(1 + r)} \tag{1}$$

După acest interval de timp, în anul $N + 1$, transformatorul de putere P_{n1} trebuie înlocuit cu altul de putere imediat superioară

$$P_{n2} = s \cdot P_{n1}$$

Avînd în vedere cele arătate, relația cheltuielilor totale actualizate pentru instalarea și funcționarea unui transformator se determină pe baza elementelor de cheltuieli și are forma:

$$CTA = A \cdot n \cdot I + B \cdot n \cdot (P_0 + P_v) + \\ + C \cdot \frac{P_{sc}}{n} \cdot \frac{S_{v1}^2}{P_n^2} \tag{2}$$

În relația (2) s-a notat cu:

$$A = \frac{N \cdot E(d)}{D \cdot d} + k[E(d+N) - E(d)] \tag{3}$$

$$B = \frac{N \cdot E(d)}{D \cdot d} \cdot \delta + \\ + 8760 \cdot e\,[E(d + N) - E(d)] \tag{4}$$

$$C = \frac{\delta}{D}\left[N(1+i)^{-d} + \right. \\ \left. + r(2+r) \sum_{t=d+2}^{d+N} \frac{(1+r)^{2(t-d-2)}}{(1+i)^{t-1}} (N - t + d + 1)\right] + \\ + \tau \cdot e\left[(1+i)^{-d} + (1+r)^2 \sum_{t=d+2}^{d+N} \frac{(1+r)^{2(t-d-2)}}{(1+i)^{t-1}}\right] \tag{5}$$

pentru ipoteza $d = d_1$

*) Urmare a celor expuse, relația (1), elaborată pe baza caracteristicilor medii ale seriei, nu constituie decît o aproximație, care va fi corectată prin calculul intervalului de timp N, pentru fiecare transformator în parte.

Cu ajutorul relației (2) se calculează cheltuielile totale actualizate pentru fiecare soluție, în funcție de sarcina inițială S_{v1}, și se va alege transformatorul a cărui putere nominală conduce la cele mai mici cheltuieli totale actualizate.

Pentru exemplificare, în figura 2 s-au reprezentat grafic cheltuielile totale actualizate pentru transformatoarele din seria 110—116/5,4—22 kV, 10—63 MVA, în funcție de sarcină.

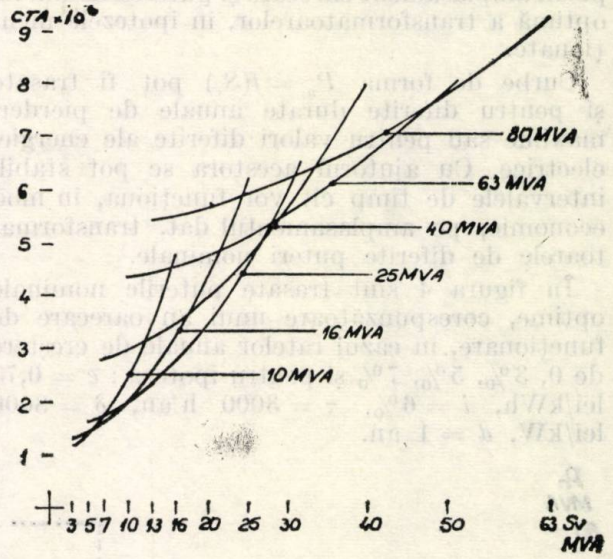


Fig. 2. Cheltuielile totale actualizate în funcție de mărimea sarcinii, pentru transformatoarele din seria 10—63 MVA 110—116/5,4—22 kV, în ipoteza: $r = 7\%$, $e = 0{,}75$ lei/kWh, $i = 6\%$, $\tau = 3000$ h/an, $\delta = 8000$ lei/kW; $k = 4\%$, $d = d_1 = 1$ an.

În continuare, în figura 3 s-au trasat curbele $P_n = f(S_v)$ pentru diferite mărimi ale ratei

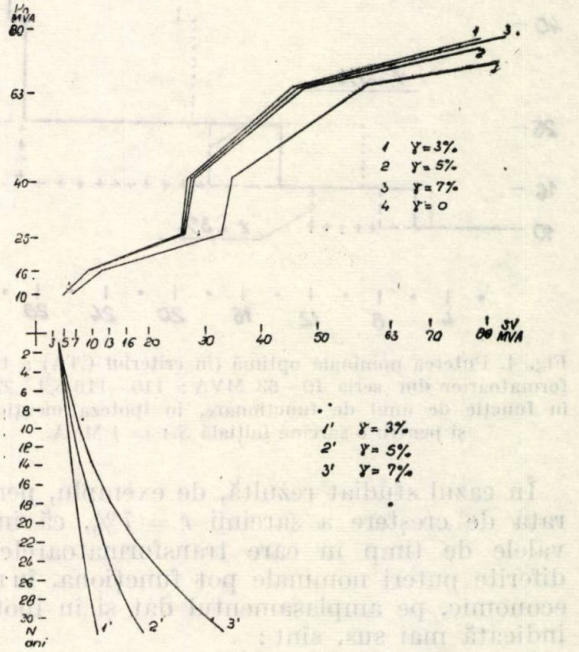


Fig. 3. Puterile nominale optime (în criteriul CTA) ale transformatoarelor din seria 10—63 MVA, 110—116/5,4—22 kV în funcție de evoluția sarcinii inițiale, S_{v1}.

anuale de creştere a sarcinii, în ipoteza : $i = 6\%$, $\tau = 3000$ h/an, $e = 0{,}75$ lei/kWh, $\delta = 8000$ lei/kW, $k = 4\%$, $d = 1$ an. În partea inferioară a diagramei sînt trasate curbele 1', 2', 3', care reprezintă evoluţia sarcinii iniţiale S_{v1} (4 MVA) pentru diferite rate anuale de creştere şi pentru o perioadă de 30 ani.

Cu ajutorul acestor curbe se poate stabili corespondenţa dintre perioada de funcţionare pe un amplasament oarecare şi puterea nominală optimă a transformatoarelor, în ipotezele menţionate.

Curbe de forma $P_n = f(S_v)$ pot fi trasate şi pentru diferite durate anuale de pierderi maxime sau pentru valori diferite ale energiei electrice. Cu ajutorul acestora se pot stabili intervalele de timp cît vor funcţiona, în mod economic, pe amplasamentul dat, transformatoarele de diferite puteri nominale.

În figura 4 sînt trasate puterile nominale optime, corespunzătoare unui an oarecare de funcţionare, în cazul ratelor anuale de creştere de 0, 3%, 5%, 7% şi pentru ipoteza : $e = 0{,}75$ lei/kWh, $i = 6\%$, $\tau = 3000$ h/an, $\delta = 8000$ lei/kW, $d = 1$ an.

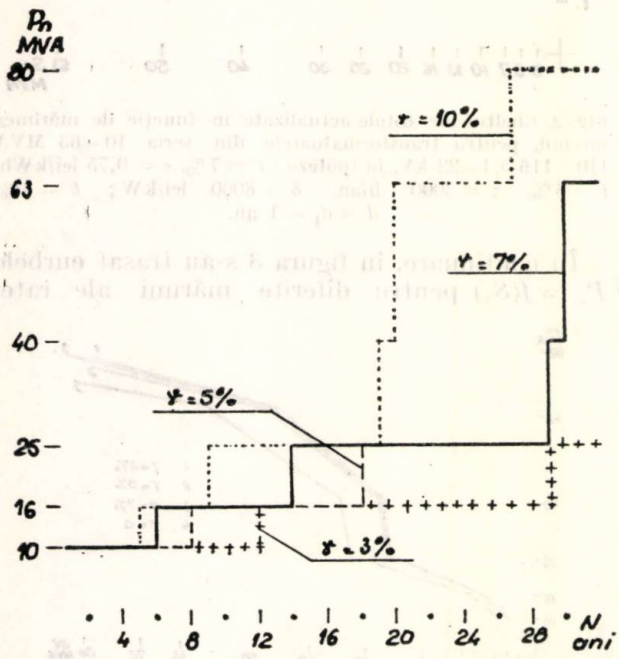


Fig. 4. Puterea nominală optimă (în criteriul CTA) a transformatoarior din seria 10—63 MVA ; 110—116/5,4—22 kV în funcţie de anul de funcţionare, în ipoteza menţionată şi pentru o sarcină iniţială $S_{v1} = 4$ MVA.

În cazul studiat rezultă, de exemplu, pentru rata de creştere a sarcinii $r = 7\%$, că intervalele de timp în care transformatoarele de diferite puteri nominale pot funcţiona, în mod economic, pe amplasamentul dat şi în ipoteza indicată mai sus, sînt :

10 MVA rămîne pe amplasament 6 ani (între anul $d + 1$ şi $d + 6$)

16 MVA rămîne pe amplasament 6 ani (între anul $d + 7$ şi $d + 14$)

25 MVA rămîne pe amplasament 15 ani (între anul $d + 15$ şi $d + 29$)

40 MVA rămîne pe amplasament 1 an (între anul $d + 29$ şi $d + 30$)

Evident, pentru alte rate anuale de creştere a sarcinii, pentru alte durate anuale de pierderi maxime sau pentru alte valori ale energiei electrice, intervalul de timp N, corespunzător fiecărei puteri nominale, va suferi modificări.

Domeniul optim de încărcare al transformatoarelor

Dacă vom considera două transformatoare de putere P_{n1} şi P_{n2} şi vom egala relaţiile *CTA* (2) în punctele de intersecţie a curbelor (pentru $S_{vn1} = S_{vn2}$), determinăm limita superioară a sarcinii la care, datorită creşterii sarcinii, transformatorul de putere P_{n1} trebuie înlocuit, pentru a asigura funcţionarea economică, cu altul de putere P_{n2}.

Relaţia sarcinii limită este :

$$S_v = \sqrt{\frac{A(I_2 - I_1) + B[(P_{02} - P_{01}) + (P_{v2} - P_{v1})]}{C \cdot \left(\frac{P_{sc1}}{P_{n1}^2} - \frac{P_{sc2}}{P_{n2}^2}\right)}} \tag{6}$$

În cazul în care vom analiza două variante, V_1 şi V_2, în care varianta V_1 cuprinde n transformatoare identice de putere P_{n1} şi varianta V_2, m transformatoare de putere P_{n2}, limita de sarcină pînă la care varianta V_1 poate funcţiona în mod economic se determină cu relaţia :

$$S_v = \sqrt{\frac{A(mI_2 - nI_1) + B[m(P_{02} + P_{v2}) - n(P_{01} + P_{v1})]}{C \cdot \left(\frac{P_{sc1}}{P_{n1}^2} - \frac{P_{sc2}}{P_{n2}^2}\right)}} \tag{7}$$

Trebuie remarcat că relaţia (7) conduce, în cazul comparării unor soluţii inadecvate, la rezultate neraţionale.

Dacă într-o staţie sau post de transformare există n transformatoare identice, de putere P_{n1}, se poate stabili un program de funcţionare potrivit cu creşterea sarcinii. Limita minimă de sarcină la care trebuie pus în funcţiune transformatorul n, dacă se funcţionează cu $n - 1$ transformatoare, se determină cu relaţia :

$$S_v = P_{n1} \sqrt{\frac{n \cdot (n-1)\,[A \cdot I_1 + B(P_{01} + P_{v1})]}{C \cdot P_{sc}}} \tag{8}$$

În această situație este necesar ca soluția existentă (n transformatoare) să fie comparată, pe baza criteriului adoptat, cu alte soluții, formate din unul sau mai multe transformatoare de altă putere decît în prima variantă, pentru a vedea dacă se poate obține un regim de funcționare mai economic.

Aceste relații generale pot fi folosite pentru oricare din criteriile expuse mai sus, cu condiția particularizării parametrilor A, B și C.

Dependența puterii nominale, a domeniului de încărcare și a duratei de funcționare a mărimilor de calcul

a) *Influența ratei anuale de creștere a sarcinii*

Din figurile 5, 6 și 7 rezultă că parametrii A, B și C sînt puternic influențați de mărimea ratei anuale de creștere a sarcinii.

Domeniul optim de încărcare a unităților din seria 10—63 MVA, calculate cu relația (6), pentru mai multe valori ale ratei anuale de creștere a sarcinii, în ipoteza : $e = 0{,}75$ lei/kWh,

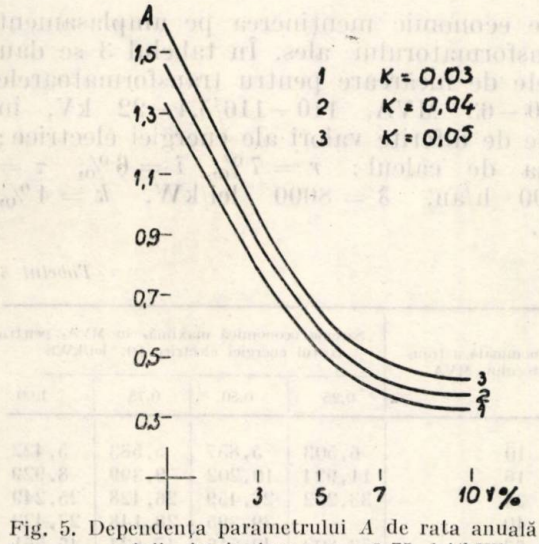


Fig. 5. Dependența parametrului A de rata anuală de creștere a sarcinii, în ipoteza : $e = 0{,}75$ lei/kWh ; $i = 6\%$; $k = 4\%$; $\tau = 3000$ h/an.

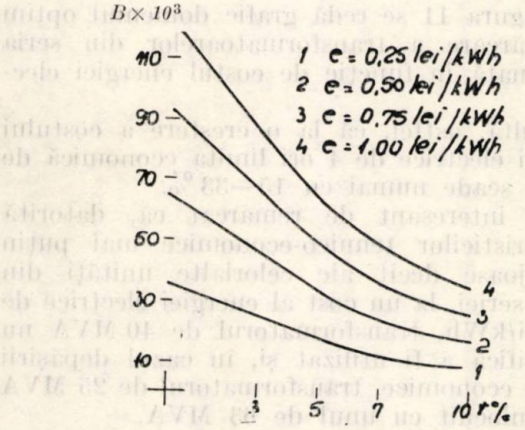


Fig. 6. Dependența parametrului B de rata medie anuală de creștere a sarcinii.

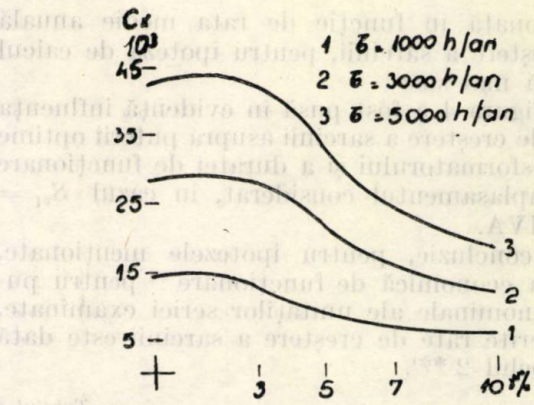


Fig. 7. Dependența parametrului C de rata medie anuală de creștere a sarcinii.

$\tau = 3000$ h/an, $i = 6\%$, $k = 4\%$, $d = 1$ an, $\delta = 8000$ lei/kW, este dat în tabelul 1.

Tabelul 1

Puterea nominală a transformatorului MVA	Sarcina economică maximă, în MVA, pentru rata de creștere a sarcinii (r)				
	0	3%	5%	7%	10%
10	7,000	5,725	5,477	5,583	5,613
16	12,072	9,725	9,249	9,399	9,424
25	33,743	27,284	25,986	26,428	26,528
40	35,135	28,814	27,598	28,148	28,311
63	59,252	48,692	46,675	47,624	47,914

În figura 8 se redă grafic domeniul optim de încărcare a transformatoarelor din seria

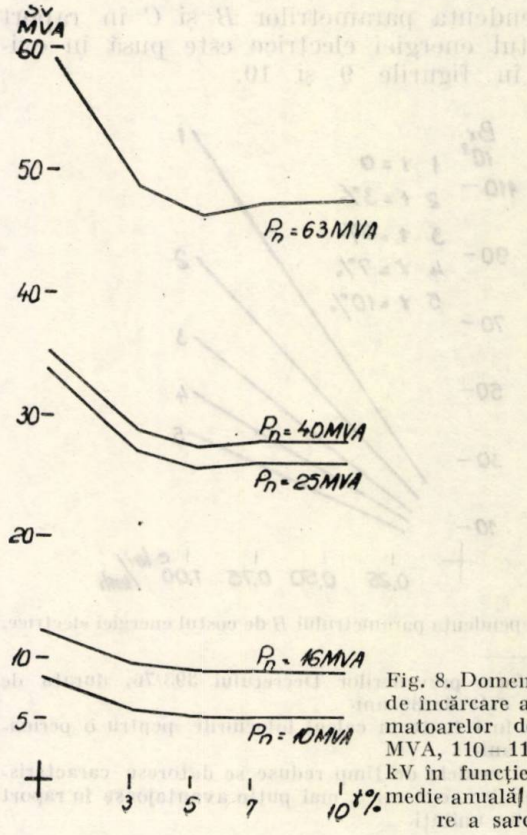


Fig. 8. Domeniul optim de încărcare a transformatoarelor de 10 — 63 MVA, 110—116/5,4—22 kV în funcție de rata medie anuală de creștere a sarcinii.

menționată în funcție de rata medie anuală de creștere a sarcinii, pentru ipoteza de calcul expusă mai sus.

În figura 4 a fost pusă în evidență influența ratei de creștere a sarcinii asupra puterii optime a transformatorului și a duratei de funcționare pe amplasamentul considerat, în cazul $S_{v1} = 4$ MVA.

În concluzie, pentru ipotezele menționate, durata economică de funcționare *) pentru puterile nominale ale unităților seriei examinate, la diferite rate de creștere a sarcinii este dată în tabelul 2 **).

Tabelul 2

Puterea nominală a transformatorului MVA	Durata de funcționare economică, în ani, pentru $S_{v_1} = 4$ MVA și rate de creștere a sarcini r				
	0	3%	5%	7%	10%
10	30	12	8	6	5
16	—	17	10	7	4
25	—	1	12	15	10
40***)	—	—	—	1	1
63	—	—	—	1	10

Din cele prezentate rezultă, în mod justificat, că frecvența schimbărilor este mai mare în cazul unor rate de creștere a sarcinii mai mari.

b) *Influența costului energiei electrice asupra domeniului economic de încărcare și a duratei de funcționare a transformatorului pe amplasamentul considerat*

Dependența parametrilor B și C în raport de costul energiei electrice este pusă în evidență în figurile 9 și 10.

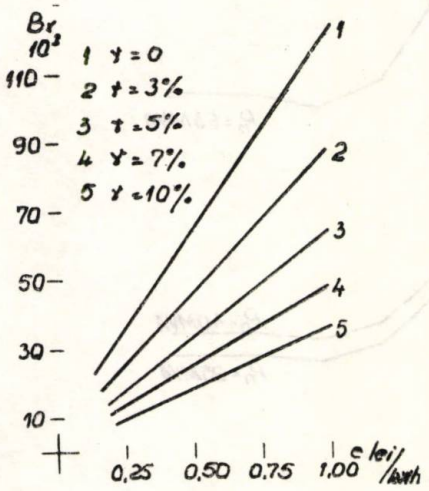


Fig. 9. Dependența parametrului B de costul energiei electrice.

*) Conform prevederilor Decretului 393/76, durata de viață, D, este de 30 ani.

**) Au fost luate în calcul înlocuirile pentru o perioadă de 30 ani.

***) Intervalele de timp reduse se datoresc caracteristicilor tehnico-economice, mai puțin avantajoase în raport cu celelalte unități.

Variația liniară, puternică, a mărimilor B și C nu conduce însă la influențe importante asupra puterilor nominale optime, a domeniului economic de încărcare sau asupra intervalului de timp cît se justifică din punct de

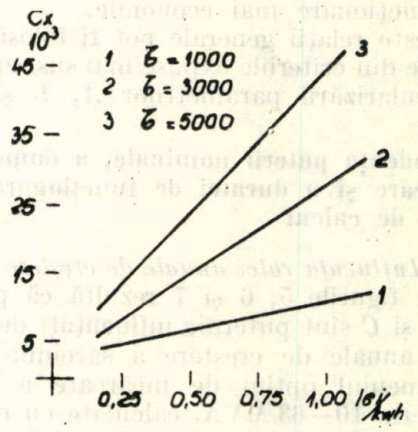


Fig. 10. Dependența parametrului C de costul energiei electrice.

vedere economic menținerea pe amplasament a transformatorului ales. În tabelul 3 se dau limitele de încărcare pentru transformatoarele de 10—63 MVA, 110—116/5,4—22 kV, în funcție de diferite valori ale energiei electrice; ipoteza de calcul: $r = 7\%$, $i = 6\%$, $\tau = 3000$ h/an, $\delta = 8000$ lei/kW, $k = 4\%$, $d = 1$.

Tabelul 3

Puterea nominală a transformatorului, MVA	Sarcina economică maximă, în MVA, pentru costul energiei electrice (c), lei/kWh:			
	0,25	0,50	0,75	1,00
10	6,503	5,857	5,583	5,422
16	11,924	10,202	9,399	8,929
25	33,202	28,459	26,428	25,249
40	—	29,395	28,148	27,422
63	53,803	49,516	47,624	46,561

În figura 11 se redă grafic domeniul optim de încărcare a transformatoarelor din seria menționată în funcție de costul energiei electrice.

Rezultă, astfel, că la o creștere a costului energiei electrice de 4 ori limita economică de sarcină scade numai cu 15—33%.

Este interesant de remarcat că, datorită caracteristicilor tehnico-economice mai puțin avantajoase decît ale celorlalte unități din cadrul seriei, la un cost al energiei electrice de 0,25 lei/kWh, transformatorul de 40 MVA nu se justifică a fi utilizat și, în cazul depășirii sarcinii economice, transformatorul de 25 MVA va fi înlocuit cu unul de 63 MVA.

În ceea ce privește duratele de timp cît va funcționa pe amplasamentul dat fiecare unitate,

în cazul creşterii sarcinii cu o rată anuală de 7%, situaţia este prezentată în tabelul 4.

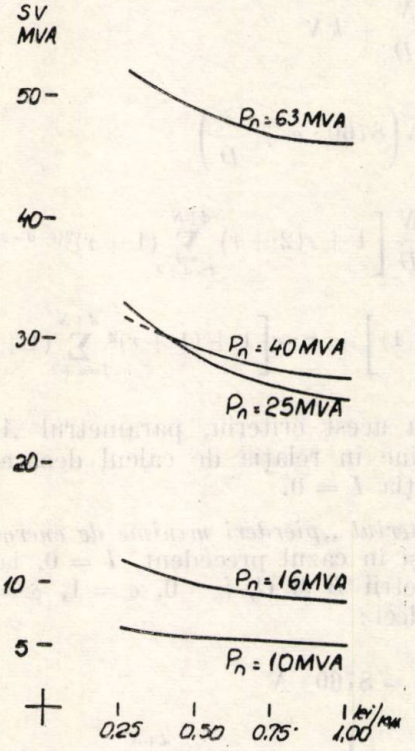


Fig. 11. Domeniul optim de încărcare în funcţie de costul energiei electrice.

Tabelul 4

Puterea nominală a transformatorului MVA	Durata de funcţionare economică, în ani, pentru S_{V1} = = 4 MVA şi costul energiei electrice (e), lei/kWh:			
	0,25	0,50	0,75	1,00
10	8	6	6	5
16	9	9	7	7
25	13	15	15	15
40	—	—	1	1
63	—	—	1	2

În concluzie se poate afirma că influenţa creşterii preţului combustibilului asupra puterii optime a transformatoarelor, a domeniului economic de sarcină sau a intervalului de timp cît acestea funcţionează, în condiţii de eficienţă pe un amplasament oarecare, este limitată şi că se manifestă după o curbă asimptotică la axa absciselor.

c) *Dependenţa puterii nominale optime, a domeniului economic de încărcare şi a timpului de funcţionare pe un amplasament dat în funcţie de durata anuală de pierderi maxime*

Cu ajutorul relaţiei (5) s-a calculat dependenţa parametrului C în funcţie de durata anuală de pierderi maxime. Curba $C = f(\tau)$ este dată în figura 12, din care se constată o variaţie puternică a mărimii C în raport cu durata anuală de pierderi maxime. O influenţă la fel de puternică o manifestă durata anuală de pierderi maxime şi asupra puterii nominale optime a transformatoarelor; astfel, pentru transformatoarele de 10—63 MVA, 110—116/5,4—22 kV şi în ipoteza de calcul: $r = 7\%$, $i = 6\%$, $k = 4\%$, $d = 1$, $\delta = 8000$ lei/kW, se

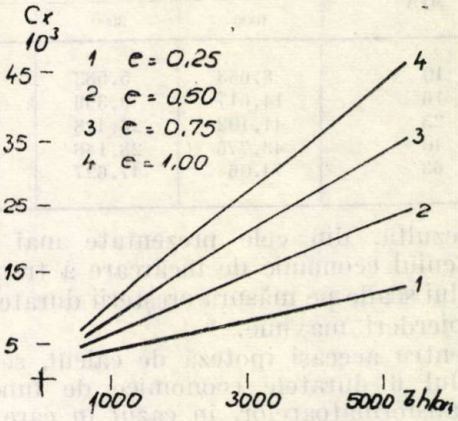


Fig. 12. Dependenţa parametrului C de durata anuală de pierderi maxime (τ) în ipoteza: $r = 7\%$, $i = 6\%$, $k = 4\%$, $d = 1$, $\delta = 8000$ lei/kW.

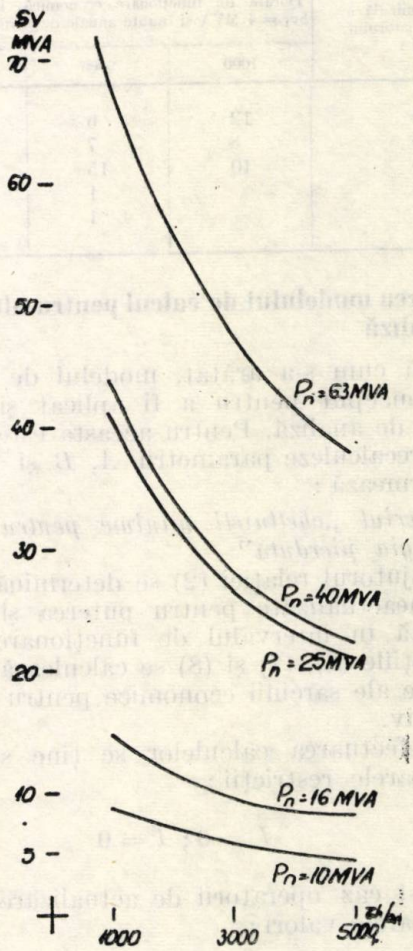


Fig. 13. Domeniul optim de încărcare a transformatoarelor de 10—63 MVA, 110—116/5,4—22 kV în funcţie de durata anuală de pierderi maxime, în ipoteza: $r = 7\%$, $e = 0,75$ lei/kWh; $i = 6\%$, $\delta = 8000$ lei/kW, $k = 4\%$, $d = 1$ an.

prezintă în figura 13 puterile nominale optime în funcție de sarcină, așa după cum au fost calculate și în tabelul 5.

Tabelul 5

Puterea nominală a transformatorului MVA	Sarcina economică maximă, în MVA, pentru durata anuală de pierderi maxime (τ) h/an:		
	1000	3000	5000
10	8,683	5,583	4,432
16	14,617	9,399	8,219
25	41,102	26,428	20,981
40	43,776	28,148	22,347
63	74,068	47,627	37,809

Rezultă, din cele prezentate mai sus, că domeniul economic de încărcare a transformatorului scade pe măsura creșterii duratei anuale de pierderi maxime.

Pentru aceeași ipoteză de calcul, se dau în tabelul 6 duratele economice de funcționare a transformatoarelor, în cazul în care sarcina inițială $S_{v1} = 4$ MVA.

Tabelul 6

Puterea nominală a transformatorului MVA	Durata de funcționare economică, în ani, pentru $Sv_1 = 4$ MVA și durate anuale de pierderi maxime (τ)		
	1000	3000	5000
10	12	6	3
16	8	7	8
25	10	15	14
40	—	1	1
63	—	1	4

Utilizarea modelului de calcul pentru alte criterii de analiză

După cum s-a arătat, modelul de calcul a fost conceput pentru a fi aplicat și la alte criterii de analiză. Pentru aceasta este necesar să se recalculeze parametrii A, B și C, după cum urmează:

1. *Criteriul „cheltuieli minime pentru puterea și energia pierdută"*

Cu ajutorul relației (2) se determină cheltuielile neactualizate pentru puterea și energia pierdută în intervalul de funcționare N, iar cu relațiile (6), (7) și (8) se calculează limitele maxime ale sarcinii economice pentru criteriul respectiv.

La efectuarea calculelor se ține seama de următoarele restricții:

$$I = 0\,;\; i = 0$$

În acest caz operatorii de actualizare vor lua următoarele valori:

$$E(d+N) - E(d) = N$$

$$E(d)/d = 1,$$

iar expresiile (3), (4) și (5) capătă forma:

$$A = \frac{N}{D} + kN$$

$$B = N\left(8760 \cdot e + \frac{\delta}{D}\right)$$

$$C = \frac{N}{D}\left[1 + r(2+r)\sum_{t=d+2}^{d+N}(1+r)^{2(t-d-2)}(N+d-\right.$$

$$\left. - t + 1)\right] + \tau \cdot e\left[1 + (1+r)^2\sum_{t=d+2}^{d+N}(1+r)^{2(t-d-2)}\right]$$

Pentru acest criteriu, parametrul A nu mai intervine în relația de calcul deoarece există restricția $I = 0$.

2. *Criteriul „pierderi minime de energie"*

Ca și în cazul precedent, $I = 0$, iar pentru parametrii B și C, $i = 0$, $e = 1$, $\delta = 0$. Vom avea deci:

$$B = 8760 \cdot N$$

$$C = \tau\left[1 + (1+r)^2\sum_{t=d+2}^{d+N}(1+r)^{2(t-d-2)}\right]$$

3. *Criteriul „pierderi minime de putere"*

Se stabilește pentru: $I = 0$, $i = 0$, $\delta = 1$, $e = 0$.

Cu aceste restricții relațiile parametrilor devin:

$$B = N/D$$

$$C = \frac{N}{D}\left[1 + r(2+r)\sum_{t=d+2}^{d+N}(1+r)^{(t-d-2)}(N - \right.$$

$$\left. - t + d + 1)\right]$$

Potrivit criteriului de analiză adoptat, rezultă regimuri de funcționare economică diferite. Astfel, sarcinile economice maxime pentru transformatoarele de 10—63 MVA, 110—116/5,4—22 kV, calculate cu ajutorul celor patru criterii sînt date în tabelul 7.

Rezultă din tabelul 7 că pentru criteriile: cheltuieli totale actualizate, cheltuieli minime pentru puterea și energia pierdută și pierderi minime de energie, limitele de sarcină, corespunzătoare unui transformator de o anumită putere nominală sînt, relativ, apropiate, în timp ce sarcina economică, determinată cu ajutorul criteriului pierderi minime de putere, este foarte redusă.

Tabelul 7

Puterea nominală a transformatorului MVA	Sarcinile economice maxime, în MVA, pentru criteriile:			
	CTA $i = 6\%$	cheltuieli minime pentru puterea și energia pierdută	pierderi minime de:	
			energie	putere
10	5,583	4,263	4,897	1,615
16	9,399	6,264	7,191	2,372
25	26,428	18,294	21,011	6,929
40	28,148	21,961	25,223	8,318
63	47,627	37,713	43,315	14,284

Dintre cele patru criterii analizate, criteriul cheltuieli totale actualizate admite sarcini economice mai mari.

În tabelul 8 se dau, pentru unitățile din seria examinată și în aceleași ipoteze de calcul ca mai sus, limitele inferioare și superioare de sarcină. Sarcina minimă corespunde momentului în care transformatorul va fi instalat pe amplasamentul respectiv, iar sarcina maximă momentului în care transformatorul trebuie înlocuit cu altul, de putere superioară.

Tabelul 8

Puterea nominală a transformatorului MVA	Intervalul economic de încărcare, în %, din puterea nominală pentru criteriile:			
	CTA 6%	cheltuieli minime pentru puterea și energia pierdută	pierderi minime de:	
			energie	putere
10	...55,8	...42,6	...49,0	...16,2
16	34,9—58,7	26,6—39,2	30,6—45,0	10,1—14,8
25	37,6—105,7	25,1—73,2	28,8—84,0	9,5—27,7
40	66,1—70,4	45,7—54,9	52,2—63,1	17,3—20,8
63	44,7—75,6	34,9—59,9	40,0—68,7	13,2—22,7

Exemple de calcul

1. Pentru proiectarea unei stații electrice de transformare de 110/6 kV se analizează trei variante de profil, și anume:

1) 3×25 MVA

2) 2×40 MVA

3) 1×63 MVA

Datele de calcul:

$S_{v1} = 36,7$ MVA

$r = 7\%$

$e = 0,75$ lei/kWh

$\tau = 3\,000$ h/an

$d = 1$ an

$\delta = 8\,000$ lei/kW

$k = 4\%$

Caracteristicile transformatoarelor:

	U.M.	25 MVA	40 MVA	63 MVA
I	lei	1 265 000	2 288 000	3 243 000
$P_0 + P_v$	kW	25,5	41,5	71,0
P_{sc}	kW	139	246	265

Se aplică criteriul *CTA* cu $i = 6\%$

Valoarea parametrilor:

$$A = 0,431$$

$$B = 36\,364,454$$

$$C = 21\,098,490$$

Se calculează cheltuielile totale actualizate cu ajutorul relației (2)

$$CTA_{3\times25} = 6\,524\,198$$

$$CTA_{2\times40} = 7\,175\,095$$

$$CTA_{1\times63} = 5\,876\,963$$

Varianta 3, cu transformator de 63 MVA, este cea mai avantajoasă din punct de vedere economic.

2. Presupunem o stație electrică de transformare de 110/6 kV, echipată cu trei unități de transformare de cîte 25 MVA. Se cere să se determine sarcina la care trebuie pus în funcțiune cel de-al treilea transformator pentru aceleași date de calcul.

În acest caz, cel de-al treilea transformator fiind instalat, vom adopta, pentru analiză, criteriul cheltuieli minime pentru puterea și energia pierdută ($I = 0$; $i = 0$).

Valorile parametrilor:

$$B = 47\,856,667$$

$$C = 27\,416,617$$

Se aplică relația (8) și rezultă

$$S_v = 34,653 \text{ MVA}$$

3. Pentru cazul precedent (34,7 MVA), se mai analizează dacă se poate găsi un regim de funcționare mai economic dacă se vor înlocui transformatoarele de 25 MVA cu altele.

Aplicînd criteriul *CTA* ($i = 6\%$), rezultă pentru sarcina respectivă

$$CTA_{3\times25} = 6\,300,845$$

$$CTA_{1\times63} = 5\,675,801$$

Deci și pentru această încărcare, varianta 1×63 MVA se clasează pe primul loc.

Concluzii

Modelul matematic elaborat are caracter general, putînd fi aplicat, cu particularizările corespunzătoare, pentru a selecta variantele optime prin criteriile:

a) cheltuieli totale actualizate;

c) cheltuieli pentru puterea și energia pierdută;

c) pierderi minime de energie;

d) pierderi minime de putere.

Modelul matematic cuprins în prezenta metodă poate fi utilizat pentru diverse ipoteze de calcul, caracterizate prin valori diferite ale parametrilor pentru care a fost stabilit modelul de calcul.

Criteriile de analiză pot fi aplicate cu ajutorul modelului stabilit pentru unul sau mai multe transformatoare identice sau pentru compararea a două variante omogene, formate dintr-un număr diferit de transformatoare.

Modelul de calcul are structură complexă și ține seama de : pierderile în gol și sarcină, rata de creștere a sarcinii, durata anuală de pierderi maxime, costul energiei electrice, durata de execuție și montaj a transformatorului, mărimea investițiilor pentru instalarea în sistem a puterii corespunzătoare pierderilor, costul de investiții al transformatorului, cheltuielile anuale de întreținere, revizii și reparații și consumul tehnologic pentru ventilație.

Modelul de calcul se bazează pe caracteristicile reale ale transformatoarelor, fapt ce permite a fi aplicat și pentru analiza economică a două sau mai multe transformatoare care fac parte din serii diferite.

Bibliografie

[1] * * * *Normativ privind calculul comparativ tehnico-economic la instalațiile de producere, transport și distribuție de energie electrică și termică.* PE 011/1980, ISPE.

[2] * * * *Metodă de calcul pentru alegerea puterii optime a transformatoarelor.* ISPE, iulie 1980.

[3] Buhuș, P. *Cercetări privind condițiile economice pentru alegerea în proiectare și înlocuirile ulterioare în exploatare ale transformatoarelor cu ulei din posturile echipate cu o singură unitate.* I.P.B., 1978.

[4] * * * *Condiții tehnice pentru transformatoarele de putere 16—63 000 kVA. Nivel de pierderi.* ISPE, 1979.

[5] Horvilleur, J. *Développement des postes HT/MT.* În : E.d.F. Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches nr. 3/1976.

(Articol intrat în redacție la 25 octombrie 1980)

Determinarea secțiunii optime a conductoarelor utilizînd metode econometrice

Ing. **Gh. Șchiopu** *)

1. Generalități cu privire la calculul secțiunii conductoarelor rețelelor electrice

În proiectarea rețelelor electrice, secțiunea conductoarelor se alege, de regulă, în funcție de curentul de sarcină maxim, de durată, ținînd seama de tipul conductoarelor și de modul lor de pozare. Secțiunea astfel aleasă se verifică în mod obligatoriu la pierderile de tensiune maxime admisibile, la stabilitatea termică (la scurtcircuit) cînd protecția se realizează prin alte dispozitive decît siguranțele fuzibile [8] și la densitatea economică de curent [4], alegîndu-se secțiunea cea mai mare rezultată la verificările obligatorii enumerate.

Se reamintește că secțiunea economică a unui conductor este secțiunea pentru care se realizează un regim de funcționare optim economic, corespunzător unor cheltuieli totale minime pentru linia respectivă, într-o perioadă de funcționare dată [4], [7], [9], [10].

Necesitatea creșterii permanente a eficienței economice a sistemului electroenergetic, prin măsuri constructive, iar pe de altă parte luarea unor măsuri drastice de economisire a energiei sub toate formele — datorită crizei energetice cu care este confruntată întreaga omenire — determină reconsiderarea metodelor de calcul al secțiunii conductoarelor în scopul stabilirii cît mai exacte a acesteia și cît mai aproape de valoarea optimă, pentru a satisface restricțiile generate de criza energiei.

Principalele restricții apărute ca o consecință directă a crizei energetice și care influențează metodele de calcul al secțiunii conductoarelor sînt :

— creșterea importantă a costului energiei electrice din ultimii ani ;

— creșterea prețurilor materialelor energointensive — în special a aluminiului, ca unul dintre materialele cu cel mai mare consum energetic pentru producerea sa ;

— creșterea prețului unității de putere instalată în centralele sistemului. Este vorba de investiția specifică exprimată în lei/kW instalat, care, în contextul noilor orientări din țara noastră, ca : utilizarea cu prioritate a cărbunilor, a șisturilor bituminoase, a cursurilor mici de apă, luate în considerare la normarea densității economice, respectiv în calculul cheltuielilor totale actualizate ; la microhidrocentralele proiectate în ultima parte a anului 1980, costul kilowattului instalat, la puteri cuprinse între 0,5—1 MW, se situează în jurul valorii de 35 000 lei, putînd ajunge la puteri instalate sub 0,3 MW chiar la 50 000 lei.

Avînd în vedere sarcina amenajării în cincinalul 1981—1985 a unei puteri în microhidrocentrale egală cu jumătate din cea amenajată în cei 30 de ani anteriori, aceste costuri trebuie să se reflecte în mod corespunzător în calculele de eficiență a tuturor elementelor sistemului ;

— necesitatea reducerii importante a consumului propriu tehnologic (c.p.t.) în rețele.

Pentru dimensionarea cît mai corectă a conductoarelor trebuie să se țină seama, con-

*) Ing. Gh. Șchiopu lucrează la IRE Bacău.

comitent, de cheltuielile de investiții, de cele de exploatare [10] și de restricțiile enunțate mai sus.

2. Aplicarea metodelor econometrice la determinarea secțiunilor

Econometria reprezintă ansamblul de procedee și tehnici matematice aplicate la analiza fenomenelor economice. Ea servește la cuantificarea acțiunii legilor care garantează dezvoltarea fenomenelor economice, în diferite domenii de activitate folosind calculul numeric, ca principal mijloc de investigare în expresiile matematice ca formă de prezentare a rezultatelor [2].

Ministerul Energiei Electrice folosește de mai mulți ani metoda cheltuielilor totale actualizate (CTA), metodă a cărei formă matematică reflectă cel mai bine, în comparație cu alte metode, fenomenele economice care au loc în rețelele sistemului electroenergetic național. Metoda nu este aplicată de către toate unitățile de proiectare, ea implicînd cunoașterea unor elemente și tehnici de calcul mai complexe, fiind în același timp destul de laborioasă.

Trebuie arătat că eforturile pentru aplicarea ei sînt răsplătite de obținerea unor soluții cît mai apropiate de optim, conferind totodată și autoritatea necesară soluțiilor.

Se menționează că metoda cheltuielilor actualizate face parte din metodele econometrice.

3. Determinarea secțiunii conductoarelor cu ajutorul metodei cheltuielilor totale actualizate (CTA)

În proiectare se cunosc sau se stabilesc o serie de condiții pe care trebuie să le îndeplinească instalațiile de alimentare cu energie electrică, fie ca elemente date prin temă de către beneficiar, fie ca elemente determinate de proiectantul părții electrice a obiectivului ce trebuie alimentat cu energie electrică.

În atelierul de proiectare al IRE Bacău se aplică prevederile normativelor în vigoare: PE 107/1970 cu privire la proiectarea rețelelor de cabluri și PE 135/1975, care se referă la determinarea secțiunii economice a conductoarelor rețelelor de distribuție cu tensiunea de 1—110 kV.

Astfel, secțiunile rezultă pe baza densităților economice normate în PE 135/1975, sau se caută să se obțină densități apropiate de cele normate.

Literatura tehnică [7] și unele normative [4] tratează cu anumită rezervă determinarea secțiunii conductoarelor rețelelor de joasă tensiune pentru distribuție pe baza densității economice de curent, din diverse motive, pe care nu le explicitează; este însă lesne a se deduce că printre aceste motive sînt și costurile considerate în calcul la normarea densităților economice care sînt mult depășite; costul țițeiului a crescut în ultimii 5 ani de peste 4 ori, în timp ce ponderea energiei electrice pe bază de hidrocarburi se menține la circa 50% din energia electrică produsă de sistemul energetic național; reducerea consumului propriu tehnologic în rețele se pune cu tot mai multă acuitate etc.

Aceste considerente au condus la utilizarea metodelor econometrice de calcul al secțiunii conductoarelor, metode pe care le considerăm apte să satisfacă exigențele impuse dimensionării conductoarelor.

Pentru a ilustra eficiența utilizării metodei cheltuielilor totale actualizate, se va rezolva o problemă cu titlu de exemplu, ea putînd fi aplicată la oricare altă lucrare.

Se pune problema stabilirii secțiunii conductoarelor unei linii pentru un consumator situat la distanța de 0,2 km față de postul de transformare cel mai apropiat, care solicită o putere de 60 kV, la tensiunea de 380/220 V.

Consumatorul avînd caracter urban, se consideră următoarele date cunoscute:

$$T_{max} = 3000 \text{ ore/an}$$

$$\tau_{max} = 1450 \text{ ore/an}$$

$$\cos \varphi = 0{,}95$$

Perioada de studiu — 10 și 30 ani

Costul puterii instalate în centrala de echivalare — 5250 lei/kW.

Cheltuieli anuale de exploatare: 3,5% din valoarea liniei, cotă în curs de actualizare, nefiind influențată de secțiunea liniei.

Se utilizează pentru calcul expresia matematică a cheltuielilor totale actualizate, în forma ei generală, aplicată pentru fiecare dintre variantele ce se compară, în care drept moment al actualizării este considerat, de regulă, anul punerii în funcțiune:

$$A = \sum_{i=o}^{n} [I_i(1+a)^{m-i} + C_i(1+a)^{m-i} + D_i(1+a)^{m-i} - V_i] -$$

$$- \sum_{i=o}^{n} V_{ri}(1+a)^{m-i} - W_n(1+a)^{-n}$$

în care

- a este rata de actualizare — în energetică se ia egală cu 0,08;
- i — anul curent;
- n — perioada de studiu (0, 1, 2 ... m, ... n), ani;
- m — anul de raportare, ca, de exemplu, anul începerii funcționării obiectivului;
- V_{ri} — valori reziduale ale instalațiilor dezafectate în anul i;
- W_n — valoarea remanentă a întregii instalații în anul n;
- I_i — investițiile efective în anul i, conform eșalonării preconizate, la care se adaugă, dacă este cazul, investițiile de echivalare;
- D_i — valoarea daunelor probabile în anul i;
- V_i — venitul net realizat de către obiectivele considerate intrate în funcțiune în anul i; acest factor se ia în considerare în cazul centralelor electrice etc., cînd diferențierile în timp între variante în ceea ce privește producția livrată sînt mari, de natură să influențeze ordinea de prioritate a variantelor;
- C_i — cheltuielile anuale efective de exploatare în anul i, la care se adaugă cheltuielile de echivalare pentru energie electrică, dacă este cazul.

Tabel centralizator

Numărul variantei	Secțiunea cablului, mm²	$I_{max\cdot admis}$, A	r_0, Ω/km	$R = r_0 \cdot l = r_0 \cdot 0{,}2 \times$ col. 3,	Costul canalizației, mii lei/km	Investiții directe, I_i, mii lei	Imobilizări, mii lei	Pierderi de putere, conf. notei, kW	Investiții de echiv., 5,25 × col. 8, I_e, mii lei	Investiții totale col. 6 + 9, mii lei	Factor de actualizare $(1+a)^{-1}$	$\sum_{1}^{n}$ Investiții totale actualiz. col. 10 × 11 mii lei	Cheltuieli întreținere 0,035 × col. 6, mii lei/ap.	Costul energiei pierdute col. 8 × τ × Y, mii lei/an	Daune, mii lei	Cheltuieli exploatare col. 13+14, mii lei/an	$\sum_{i=0}^{10} (1+a)^{-i}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	25	100	1,232	0,245	98	19,6	—	2,310	12,14	31,74	0,926	29,3	0,685	4,55	—	5,235	5,784
2	35	120	0,871	0,174	102	20,4	—	1,640	8,62	29,82	0,926	27,0	0,715	3,23	—	3,945	5,784
3	50	145	0,684	0,137	105	21,0	—	1,290	6,77	27,77	0,926	25,6	0,735	2,54	—	3,275	5,784
4	70	175	0,486	0,191	110	22,0	—	0,855	4,48	26,48	0,926	24,5	0,770	1,68	—	2,45	5,784
5	95	215	0,322	0,0645	120	24,0	—	0,605	3,17	27,17	0,926	25,1	0,840	1,19	—	2,03	5,784
6	120	245	0,257	0,0514	135	27,0	—	0,483	2,53	29,53	0,926	27,3	0,945	0,95	—	1,895	5,784
7	150	275	0,204	0,0408	150	30,0	—	0,384	2,01	32,01	0,926	29,06	1,050	0,756	—	1,806	5,784
8	185	310	0,165	0,033	165	33,0	—	0,310	1,63	34,63	0,926	32,0	1,155	0,61	—	1,765	5,784
9	240	360	0,133	0,0266	180	36,0	—	0,250	1,31	37,31	0,926	34,6	1,260	0,492	—	1,752	5,784

$\sum_{i=0}^{30} (1+a)^{-i}$	Cheltuieli de expl. actualizate: col. 16 × 17, $\sum_{i=1}^{10} C_i$, $n = 10$, mii lei	Cheltuieli de expl. actualizate: col. 16 × 18, $\sum_{i=1}^{30} C_i$, $n = 30$, mii lei	Cost pierderi energie fără cheltuieli întreținere, col. 14 × 18, $\sum_{i=1}^{30} C'_i$, mii lei/an	Cota rămasă neamortizată în an 10=3,33 × col. 20	Valoarea remanentă, col. 22 × 6, mii lei	Factor de actualizare $(1+a)^{-i}$	Valoarea remanentă actualizată, col. 23 × 24, mii lei	C.T.A.: col. 12 + 19 − 25, $n = 10$, mii lei	C.T.A.: col. 12 + 20, $n = 30$, mii lei	C.T.A. fără a ține seama de cheltuieli întreținere, col. 12 + 21, $n = 30$, mii lei
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
11,433	30,2	60,0	52,1	0,667	13,08	0,463	6,05	53,45	89,3	81,4
11,433	22,8	45,0	37,0	0,667	13,60	0,463	6,30	43,50	72,0	64,0
11,433	18,9	37,4	29,1	0,667	14,00	0,463	6,48	38,02	63,0	54,7
11,433	14,15	28,1	19,3	0,667	14,65	0,463	6,78	31,87	52,6	43,8
11,433	1,170	23,2	13,6	0,667	16,00	0,463	7,40	29,40	48,3	38,7
11,433	10,93	21,7	10,9	0,667	18,00	0,463	8,34	29,89	49,0	38,2
11,433	10,40	20,7	8,66	0,667	20,00	0,463	9,25	30,75	50,3	38,26
11,433	10,24	20,2	7,00	0,667	22,00	0,463	10,20	32,04	52,2	39,0
11,433	10,13	20,1	5,64	0,667	24,00	0,463	11,60	33,63	54,7	40,42

Cheltuielile de echivalare de putere vor fi de forma :

$I_{ei}(1 + a)^{-i}$

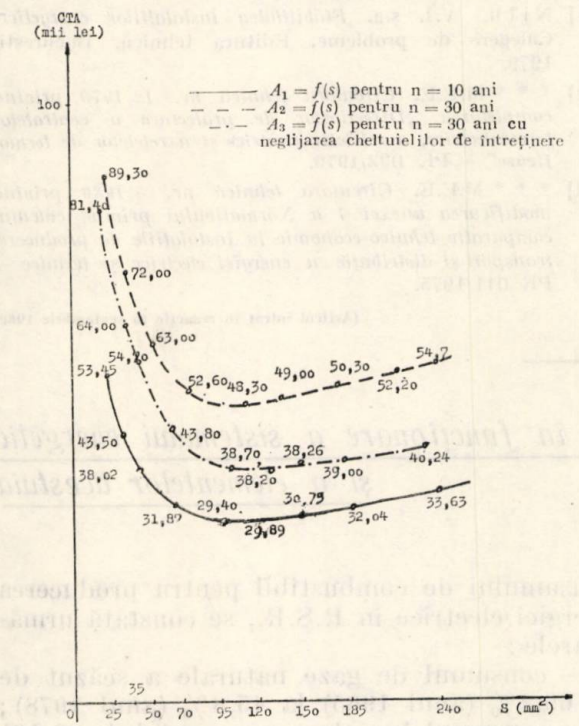
și vor fi cuprinse în componenta de investiții.

Așa cum s-a menționat mai sus :
$n = 10$ și 30, $m = 1$, $V_{ri} = 0$, $D_i = 0$, $V_i = 0$. Cu aceste valori se vor calcula cheltuielile totale actualizate pentru cazul din exemplul considerat.

Formula cheltuielilor totale actualizate, cu precizările făcute, capătă o formă mai simplă :

$$A = \sum_{i=0}^{n} \{[I_i(1 + a)^{m-i} + I_{ei}(1 + a)^{m-i}] + C_i(1 + a)^{m-i}\} - W_n(1 + a)^{-n}$$

Pentru determinarea termenilor membrului drept, se întocmește un tabel (în loc de trei, cît ar trebui) din motivul că ipotezele de la care s-a plecat permit acest lucru.



În tabelul centralizator s-au trecut toate elementele necesare determinării cheltuielilor totale actualizate pentru diversele secțiuni ale cablului de alimentare a consumatorului.

Calculele s-au efectuat cu datele stabilite mai sus și în ipotezele explicitate în nota la tabelul centralizator.

Cu rezultatele obținute în tabel s-a trasat diagrama funcției $A = f(S)$ în cele două situații.

Notă la tabelul centralizator

- Coloana 3 conține rezistența ohmică a conductoarelor [1].
- Coloana 5 conține costurile canalizației în mii lei/km realizate în proiectele elaborate de Atelierul de proiectare al IRE Bacău.
- Investiția se realizează într-un singur an, imobilizările sînt nule — coloana 7.
- Pierderile de putere — coloana 8 — după relația :

$$P = R \cdot I^2 = R(97)^2 = R \cdot 9400 \cdot 10^{-3} = R \cdot 9{,}4$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}\,U} = \frac{63{,}5}{\sqrt{3} \cdot 0{,}38} = 97 \text{ A} \quad S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{60}{0{,}95} =$$

$$= 63{,}5 \text{ kVA} \quad R = 0{,}2 \text{ r.}$$

- Investițiile de echivalare s-au determinat astfel :

$I_e = 5{,}25$ mii lei/kW inst. $\times \Delta P_{(kW)}$ = [mii lei] — col. 9

- Costul energiei pierdute — col. 14
  $\Delta W = \Delta P \cdot \tau$ și s-au multiplicat cu costul unui kWh = = 1,36 lei
- Nu există daune — col. 15.
- Col. 19 și 20 conțin cheltuielile de exploatare actualizate pentru duratele de studiu (10, respectiv 30 ani).
- Col. 21 conține costul pierderilor de energie pe întreaga durată de calcul fără a ține seama de cheltuielile de întreținere, care s-a presupus constantă, indiferent de secțiuni, așa cum se întîmplă în realitate.
- Col. 27, 28 și 29 conțin C.T.A. pentru perioadele de studiu de 10, respectiv 30 ani, precum și pentru perioada de 30 ani fără a ține seama de cheltuielile de întreținere.

4. Concluzii și propuneri

Din tabel și din diagramă rezultă că funcția $A = f(S)$ prezintă un minim, căruia îi corespunde o valoare optimă a secțiunii.

2. Cheltuielile totale actualizate sînt minime dacă se alege o secțiune de 95 mm², atît pentru o durată de studiu de 10 ani, cît și pentru una de 30 ani. Această secțiune este de circa 4 ori mai mare decît secțiunea ce se poate alege pe baza densității maxime de curent de durată și este cu o treaptă mai mică decît secțiunea economică de 120 mm² ce rezultă pe baza densității economice de curent aleasă din PE 135/1975. Diferența față de secțiunea aleasă pe baza densităților economice de curent se datorește diferenței dintre costul specific al cablului AcyABy considerat în PE 135/1975 și costul specific al cablului ACyy luat în calcul în exemplul dat.

3. Curbele rezultate din valorile obținute în exemplul dat au o alură identică cu cele date în literatură, ceea ce atestă că metoda cheltuielilor totale actualizate conduce la rezultate tehnico-economice optime pentru secțiunea conductoarelor.

4. Calculele pe baza cheltuielilor minime actualizate pot ține seama de toate schimbările ce apar în costurile de investiție sau de producție ale elementelor de rețea, ca :

— reducerea costurilor la liniile electrice subterane prin ieftinirea cablurilor sau a manoperei de pozare ;

— creșterea costului energiei electrice determinată de creșterea prețului la combustibili, în special la hidrocarburi, ceea ce impune să se țină seama în calcule de imperativul reducerii consumului propriu tehnologic în rețelele electrice ;

— creșterea prețurilor la materialele energointensive (aluminiu, fier etc.) ;

— schimbarea costurilor specifice pentru liniile electrice ca urmare a tipizării elementelor constructive (stîlpi, conductoare etc.) ;

— creșterea costurilor specfice, lei/kW, în centralele electrice de echivalare etc.

5. Pe baza concluziilor prezentate rezultă că pentru a ține seama de costurile materialelor ce compun rețelele electrice și de costurile energiei electrice într-o permanentă tendință de creștere, ca urmare a crizei energetice mondiale, este necesar ca PE 135/1975 să fie actualizat și metoda de calcul pe baza cheltuielilor minime actualizate să devină obligatorie pentru toate dimensionările de rețelele electrice.

Un argument în acest scop îl poate oferi analiza rețelei de medie tensiune a IRE Bacău, făcută pe baza cheltuielilor minime actualizate, ținîndu-se seama și de consumul propriu tehnoogic, care a scos în evidență că pentru o funcționare economică a rețelei sînt necesare numeroase lucrări de mărire a secțiunii conductoarelor.

Bibliografie

[1] Pietrăreanu, E. *Reglementări privind proiectarea, executarea și exploatarea instalațiilor electrice de utilizare.* Editura tehnică, București, 1972.

[2] Românu, I. *Econometrie cu aplicații la eficiența investițiilor.* Editura științifică și enciclopedică, București, 1975.

[3] Cămășeiu, I. *Investițiile și factorul timp.* Editura politică, București, 1975.

[4] *** *Instrucțiuni privind determinarea secțiunii economice a conductoarelor în instalațiile electrice de distribuție de 1—110 kV.* PE 155/1975. ICEMENERG, București, 1975.

[5] * * * M.E.E. *Normativ privind calculul comparativ tehnico-economic la instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice și termice* — PE 011/1975. ICEMENERG, București, 1976.

[6] * * * *Legea nr. 62/1968 privind amortizarea fondurilor fixe*, ediția III. Consiliul de Stat — Sectorul Buletinului oficial și al publicațiilor legislative, București, 1977.

[7] Albert, H. ș.a. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale.* Editura tehnică, București, 1978.

[8] * * * M.E.E. *Normativ pentru proiectarea și executarea rețelelor de cabluri electrice*— PE 107/1978. ICEMENERG, București, 1978.

[9] Crișan, O. *Sisteme electroenergetice.* Editura didactică și pedagogică, București, 1979.

[10] Comșa, D. ș.a. *Proiectarea instalațiilor electrice industriale.* Editura didactică și pedagogică, București, 1979.

[11] Nitu, V.I. ș.a. *Fiabilitatea instalațiilor energetice.* Culegere de probleme. Editura tehnică, București, 1979.

[12] * * * M.E.E. *Circulara tehnică nr. 12/1979 privind completarea „Directivelor de proiectare a centralelor termoelectrice, a rețelelor electrice și a rețelelor de termoficare"* — PE 022/1979.

[13] * * * M.E.E. *Circulara tehnică nr. 5/1980 privind modificarea anexei 7 a Normativului privind calculul comparativ tehnico-economic la instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice și termice* — PE 011/1975.

(Articol intrat în redacție în septembrie 1980)

Creșterea siguranței în funcționare a sistemului energetic și a elementelor acestuia

Stadiul actual al generalizării procesului de adltivare a păcurli sulfuroase și probleme legate de aplicare*)

Ing. **Viorica Neațu**
Ing. **Magdalena Matei**
Ing. **Petra Dordea** **)

Schimbarea structurii balanței energetice a diferitelor state în privința fondurilor diverșilor combustibili este determinată de posibilitățile și utilitatea acoperirii necesităților din rezervele proprii sau import, în funcție de economicitate, de introducerea unor procese tehnologice noi sau de schimbări în ponderea anumitor clase de consumatori.

Economicitatea a determinat în ultimele decenii creșterea aproape constantă a ponderii combustibililor lichizi în balanța energetică. Din figura 1 (*a*, *b*), unde este prezentată evoluția consumului de combustibil pentru producerea energiei electrice în R.S.R., se constată următoarele :

— consumul de gaze naturale a scăzut de la 69,2% (anul 1965) la 45,8% (anul 1978);

— consumul de cărbune a crescut de la 22,8% (anul 1965) la 37,5% (anul 1975), iar la nivelul anului 1978 este de 32%;

— consumul de păcură și motorină a crescut de la 6,2% (anul 1965) la 18,3% (anul 1978).

De asemenea, consumul mondial din rezervele de țiței pentru necesitățile energetice a sporit în ultimul timp cu circa 8% pe an, și anume de la circa 1,3—1,5 Gt c.c. în 1960 la 2,25—3,15 Gtc.c. în 1970—1971.

Folosirea păcurii drept combustibil în focarele cazanelor de abur a generat o serie de dificultăți în exploatarea cazanelor și centralelor termoelectrice alimentate cu acest tip de combustibil, datorită ponderii însemnate în compuși organici ce conțin sulf, vanadiu și sodiu, și anume :

— prezența anhidridei sulfurice în gazele de ardere, rezultată în urma combustiei sulfului din păcură, generează apariția fenomenului de coroziune de joasă temperatură, datorită ridi-

*) Comunicare prezentată la Sesiunea tehnico-științifică a ICEMENERG, București, 26—28 iunie 1980.

**) Autorii lucrează la ICEMENERG.

cării valorilor punctului de rouă acid, de unde derivă necesitatea menținerii temperaturii gazelor de ardere evacuate la coș la un nivel ridicat, fapt ce afectează randamentul termic al instalației;

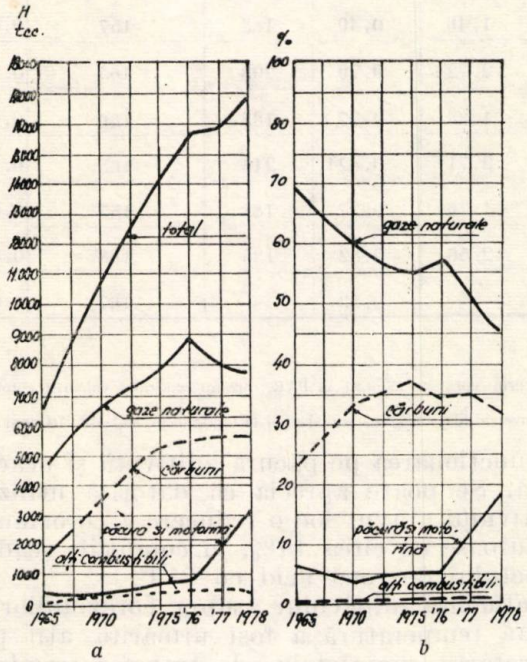


Fig. 1. Evoluția consumului de combustibil pentru producerea energiei electrice în centralele termoelectrice din R.S.R.

— formarea pentoxidului de vanadiu în urma combustiei provoacă formarea de depuneri aderente și apariția fenomenelor de coroziune de înaltă temperatură în zona suprafețelor schimbătoare de căldură care funcționează la un nivel termic ridicat (supraîncălzitorul convectiv), fapt ce limitează temperatura de ieșire a aburului.

Apariția coroziunilor și depunerilor pe suprafețele de schimb de căldură este favorizată de funcționarea cu un exces de aer mai mare de 2%, întrucît acesta conduce la oxidarea completă a sulfului și vanadiului din păcură, începînd din flacără și continuînd în zonele de radiație și de convecție de pe traseul gazelor de ardere, reacții în urma cărora rezultă anhidrida sulfurică și pentoxidul de vanadiu — cele două componente nocive ale gazelor de ardere.

În zonele reci ale cazanului (după economizor), preîncălzitor de aer, canale de gaze de ardere și coș) vaporii de apă din gazele de ardere condensează, dizolvînd anhidrida sulfurică, cu formare de acid sulfuric. Acidul format se depune pe părțile reci ale cazanului, atacînd fierul, cu formare de sulfat feros.

Apariția unor combinații nocive — pentoxidul de vanadiu, sulfații și în special pirosulfații alcalini cu puncte de topire joase (V_2O_5—675°C, Na_2SO_4—884°C, $Na_2S_2O_7$—400°C) — stimulează formarea depunerilor pe supraîncălzitorul convectiv prin generarea de eutectice ce coboară temperatura de înmuiere a cenușii. Ca urmare, aceasta trece în stare plastică și prin impact aderă la suprafețele metalice mai reci, depunerile formate izolează țevile, împiedicînd schimbul de căldură, ceea ce duce la încălzirea mai puternică a stratului exterior. În acest caz există tendința ca de acesta să se lipească o cantitate mai mare de cenușă decît cea aderentă în mod normal pe țevile curate. Interspațiile dintre țevi se reduc, ceea ce conduce la mărirea vitezei gazelor de ardere și, deci, la creșterea forțelor de lovire ale particulelor antrenate. Prin urmare, ritmul de murdărire a suprafețelor de transfer termic devine mai alert, pe măsură ce avansează acest proces.

În exploatarea cazanelor de abur ce folosesc drept combustibil păcură sulfuroasă s-au ivit o serie de dificultăți în ceea ce privește fenomenele de coroziune apărute pe suprafețele de schimb de căldură.

Cercetările efectuate în direcția diminuării efectelor corosive ale gazelor de ardere la cazanele ce funcționează pe păcură sulfuroasă au arătat că în condițiile actuale de exploatare a cazanelor este oportună folosirea unui aditiv de combustie pe bază de oxid de magneziu, concomitent cu funcționarea cazanului cu un exces mic de aer.

În urma experimentărilor efectuate pe cazanul nr. 1 de 420 t/h, cu parametrii de funcționare 570°C și 140 kgf/cm², de la CET Palas-Constanța, a fost stabilită eficiența aditivului propus de ICEMENERG.

Doza de aditiv a fost determinată funcție de conținutul de sulf și de vanadiu din păcură, de valoarea excesului de aer și de gradul de murdărire inițial al suprafețelor schimbătoare de căldură.

Rezultatele experimentărilor efectuate de ICEMENERG arată că pentru o păcură cu un conținut de sulf de 2,5%, rația optimă de aditiv este de 0,03—0,08% — mediu 0,05%, raportată la cantitatea orară de păcură.

Influența utilizării aditivului asupra procesului de coroziune la temperatură joasă — coroziunea preîncălzitoarelor de aer, canalelor de gaze de ardere și coșurilor de fum — datorată acidului sulfuric rezultat prin condensarea apei din gazele de ardere și dizolvarea anhidridei sulfurice, poate fi urmărită prin analizarea datelor din tabelul 1.

Rezultatele experimentărilor arată că valorile conținutului de SO_3 în gazele de ardere în zona după economizor sînt de circa 40 ppm la arderea păcurii sulfuroase neaditivate cu un conținut de sulf de 2,3—2,4% și vanadiu de 40—50 ppm și un exces de aer de 1,17—1,24. Valoarea numerică de 20 ppm corespunde unui exces de aer de 1,07.

Prin utilizarea aditivului la arderea păcurii cu un conținut de sulf de 2,1—3,0% și vanadiu de 40—80 ppm în aproximativ aceleași condiții

Tabelul 1

Rezultatele obținute la arderea păcurii aditivate la CET Palas—Constanța (anul 1977)

sarcina cazan t/h	Sulf în păcură, %		Exces aer		SO_3 după ECO, ppm		SO_3/SO_2+SO_3 după ECO		Punct rouă acid °C		Rație aditiv la AD %
	NAD	AD	NAD	AD	NAD	AD	NAD	AD	NAD	AD	
270	2,33	2,24	1,07	1,17	20	—	1,46	0,49	183	157	0,05
	2,44	2,46	1,24	1,24	40	13	2,72	0,79	203	165	0,10
350	2,30	2,10	1,07	1,06	21,0	10,0	1,38	0,77	188	156	0,04
	2,46	2,57	1,20	1,17	40,6	10,0	2,71	0,824	215	165	0,10
	2,38	2,16	1,103	1,06	28,7	4,0	1,76	0,27	183	157	0,05
400	2,46	2,44	1,10	1,13	42,4	12,5	2,56	0,82	185	168	0,05
		3,06	—	1,11	—	7,7	—	0,53	—	167	0,08

Observații
— NAD—probe pe păcură sulfuroasă neaditivată.
— AD—probe pe păcură sulfuroasă aditivată.
— Evaluarea potențialului corosiv a fost determinată prin metoda rapidă de analiză și prin epruvete montate în PAR, care au confirmat valoarea coroziunii Experimentările au evidențiat coroziuni mai mari în zonele reci ale PAR.
— Se constată că la un exces de aer mare conținutul de SO_3 și, implicit, gradul de conversie $SO_2—SO_3$ scade mai greu la limita nepericuloasă (10 ppm SO_3)

ca și în cazul precedent, nivelul SO_3 în gazele de ardere coboară la valori cuprinse între 4—12,5 ppm corespunzător unei doze de aditiv de 0,04—0,085%.

Se poate aprecia că utilizarea aditivului a avut ca efect o reducere a conținutului de SO_3 în gazele de ardere în medie cu 70%.

În figura 2 sînt prezentate rezultatele măsurătorilor potențialului momentan corosiv al gazelor de ardere efectuate după economizor, la funcționarea pe păcură aditivată și neaditivată. Se poate aprecia că datorită utilizării aditivului a avut loc o reducere a coroziunilor sulfuroase cu circa 45%, în condițiile scăderii punctului de rouă acid cu 25°C.

Influența aditivului asupra coroziunilor de înaltă temperatură a fost urmărită atît prin aspectarea suprafețelor de transfer termic în scopul urmăririi evoluției depunerilor din punct de vedere al aderenței volumului și durității

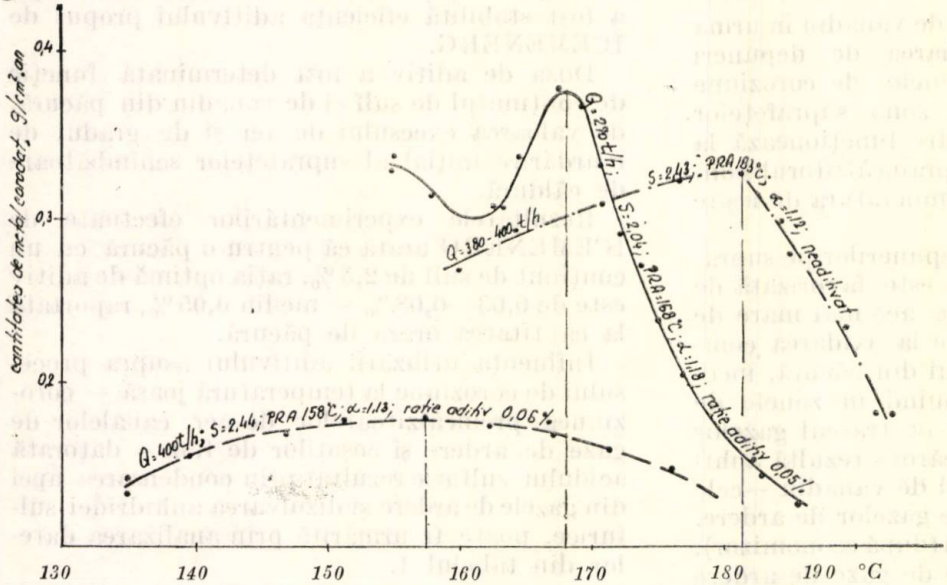


Fig. 2. Potențialul momentan corosiv al gazelor de ardere determinat prin metoda rapidă (cazan 420 t/h).

Tabelul 2

Evoluția principalelor elemente ale depunerilor formate pe suprafețele schimbătoare de căldură

Zona de prelevare depunere	Probe fără aditiv					Probe cu aditiv				
	Fe_2O_3 %	MgO %	CaO %	Cr ppm	Mo ppm	Fe_2O_3 %	MgO %	CaO %	Cr ppm	Mo ppm
Supraînc. convectiv (zgură neaderentă)	12,8	6,0	14,2	800	300	0,6	7,4	4,4	400	20
Supraînc. convectiv (depuneri aderente)	st. 24,0	6,9	14,3	100	1 300	9,0	6,3	3,7	800	60
	dr. 23,4	5,5	15,4	1 800	1 500	9,1	8,5	4,3	600	20
Ecran	19,0	7,4	12,0	3 000	1 500	10,5	6,7	4,2	400	400

lor, cît și prin analizarea fizico-chimică a acestora (tabelul 2).

Se constată că în urma aditivării a avut loc o reducere a conținutului de Fe_2O_3, CaO și Cr în depuneri de circa 2 ori și a cantității de Mo de circa 10 ori, cifre care oglindesc transformarea calitativă esențială a acestora și diminuarea procesului de coroziune de înaltă temperatură a metalului.

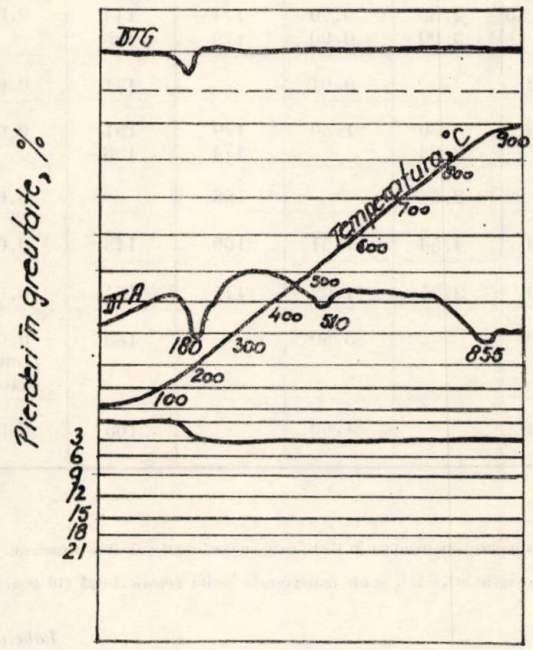


Fig. 3. Analiza termogravimetrică și termodiferențială a unei probe de depunere formată pe țevile supraîncălzitorului convectiv la funcționare pe păcură sulfuroasă neaditivată (G = 1610 mg; TG = 1000 mg; DTA = 1/10; DTG = 1/10; viteza: 10 grd/min).

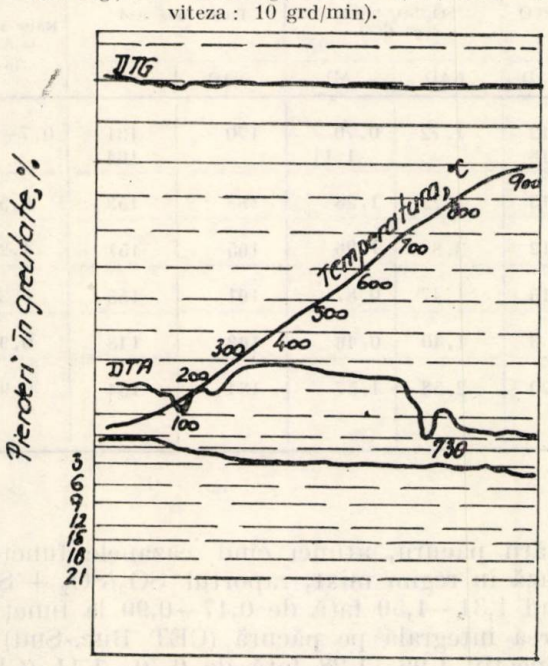


Fig. 4. Analiza termogravimetrică și termodiferențială a unei probe de depunere formată pe țevile supraîncălzitorului convectiv la funcționare pe păcură sulfuroasă aditivată (G = 1650 mg; TG = 1000 mg; DTA = 1/10; DTG = 1/10; viteza: 10 grd/min).

Comportarea termică a depunerilor rezultate la funcționarea cazanului cu păcură sulfuroasă neaditivată și aditivată a fost cercetată prin analize termogravimetrice și termodiferențiale. Comparînd diagramele din figurile 3 și 4, se observă o creștere a punctuui de topire a cenușilor cu circa 220°C — de la o temperatură de 510°C în cazul funcționării pe păcură neaditivată la o temperatură de 730°C în cazul aditivării păcurii. Prin aditivare are loc formarea unor depuneri friabile și pulverulente, în locul depunerilor dure și aderente care apar la arderea păcurii sulfuroase fără aditiv.

Din experimentările efectuate pe cazanul de 420 t/h de la CET Palas se desprind următoarele concluzii privind influența aditivului de combustie asupra proceselor de coroziune:

— coroziunea sulfuroasă este redusă în proporție de 50—70% ca urmare a micșorării conținutului de SO_3 din gazele de ardere cu circa 70% și, implicit, a coborîrii punctului de rouă acid cu circa 25°C;

— coroziunea de înaltă temperatură (coroziunea vanadică) este redusă cu circa 80%; prin aditivare are loc scăderea volumului și friabilizarea depunerilor de pe suprafețele metalice ale traseului gazelor de ardere, concomitent cu scăderea conținutului de Fe_2O_3, CaO și Cr din depuneri de pe supraîncălzitorul convectiv de circa 2 ori și de Mo de circa 10 ori și cu creșterea stabilității termice a depunerilor (prin mărirea punctului lor de topire cu circa 220°C, în afara zonei critice periculoase pentru funcționarea cazanului).

În vederea generalizării procedeului de aditivare, s-a trecut la verificarea eficacității aditivului de combustie la cazanele de 420 t/h în cazul funcționării cazanului în regim mixt păcură-gaze naturale. Experimentările s-au făcut pe cazanele de 420 t/h, 140 kgf/cm², 540°C de la CET București-Sud și CET Brazi.

Măsurătorile au constat în urmărirea eficacității aditivului pentru regimurile de alimentare cu combustibili: păcură 100%; păcură 67—75% — gaze 33—25%; păcură 33—38% — gaze 67—62%.

Rezultatele măsurătorilor sînt sintetizate în tabelele 3 și 4.

Coroziunea sulfurică a fost urmărită în cazul funcționării cu păcură neaditivată și aditivată, prin corelarea rezultatelor măsurătorilor efectuate pe traseul gazelor de ardere în zona după economizor (compoziția gazelor de ardere, valoarea punctului de rouă acid, determinarea potențialului corosiv al gazelor de ardere) cu parametrii de funcționare ai cazanului, caracteristicile chimice ale păcurii și regimul de alimentare cu combustibil.

Analizînd datele din tabelele 3 și 4 și comparînd gradul de conversie al SO_2 la SO_3 în cele două situații ale regimului de alimentare,

Tabelul 3

Rezultatele obținute la arderea păcurii aditivate la CET București-Sud
(anul 1978)

Sarcina cazan t/h	Regim alimentar %		Sulf păcură %		Exces aer		SO_3 după ECO ppm		$SO_3/SO_2 + SO_3$ după ECO		Punct rouă acid °C		Rație aditiv la AD %
	păcură	gaze	NAD	AD	NAD	AD	NAD	AD	NAD	AD	NAD	AD	
400 ± 20	100	—	2,5—2,7	2,1—2,6	1,126 1,137	1,027 1,070	37—45	8—15	2,33 3,00	0,70—0,90	174—179	144 158	0,06
	75	25	—	2,6	—	1,046	—	12	—	0,91	—	151	0,06
	67	35	2,4 2,5	2,4	1,881 1,154	1,069	34—40	16	3,30—3,84	1,50	170—174	151—158	0,06
	55	45	2,5	—	1,055	—	22	—	2,68	—	166	—	0,06
	33	67	2,7	3,0	1,152	1,028	25	9	4,54	1,31	169	148	0,09
300 ± 20	100	—	2,4	3,0	1,066	1,046	42	20	2,35	1,02	171	161	0,03
	57	43	—	3,0	—	1,092	—	40	—	3,50	—	183	0,06 pompe defecte
	38	62	—	3,0	—	1,050	—	12	—	1,69	—	165	0,06

Observații:
— NAD—probe pe păcură sulfuroasă neaditivată.
— AD—probe pe păcură sulfuroasă aditivată.
— Evaluarea potențialului corosiv a fost determinată prin metoda rapidă de analiză și prin epruvete montate în PAR, care au confirmat valoarea coroziunii. Experimentările au evidențiat coroziuni mai mari în zonele reci ale PAR.
— Se constată că la un exces de aer mare conținutul de SO_3 și, implicit, gradul de conversie $SO_2—SO_3$ scade mai greu la limita nepericuloasă (10 ppm SO_3)

Tabelul 4

Rezultatele obținute la arderea păcurii aditivate la CET Brazi
(anul 1979)

Sarcina cazan t/h	Regim alimentare		Sulf în păcură, %		Exces de aer		SO_3 după ECO ppm		$SO_3/SO_2 + SO_3$ după ECO		Punct rouă acid °C		Rație aditiv la AD %
	păcură	gaz	NAD	AD	NAD	AD	NAD	AD	NAD	AD	NAD	AD	
400 ± 10	100	—	2,32	2,45 2,75	1,024	1,041 1,097	29	12—18	1,72	0,70—1,11	170	131—164	0,7—0,3
	75	25	2,50	2,45	1,045	1,045	28	13	2,72	1,28	168	153	0,5
	38	62	2,32	2,45	1,065	1,078	24	12	3,84	1,96	165	151	1,2
350 ± 10	100	—	2,08	2,30	1,054	1,046	21	15	1,47	0,87	161	155	0,3
			2,50	2,75	1,041	1,109	25	8	1,40	0,46	163	148	0,9
270 ± 10	100	—	3,02	2,30	1,042 1,340	1,032	44	20	2,58	1,57	184	164	0,9

NAD — probe pe păcură sulfuroasă neaditivată
AD — probe pe păcură sulfuroasă aditivată

în cazul funcționării cu păcură aditivată și neaditivată, se constată o creștere a gradului de conversie în cazul regimului mixt de alimentare (raportul $SO_3/SO_2 + SO_3$ fiind de 3,20—4,54 — CET București-Sud și 2,72—3,84 — CET Brazi), față de cazul alimentării integrale cu păcură (raportul $SO_3/SO_2 + SO_3$ fiind de 2,33—3,0 și respectiv 1,72—1,40). Gradul de conversie a SO_2 la SO_3 crește și în situația aditivării păcurii, atunci cînd cazanele funcționează în regim mixt, raportul $SO_3/SO_2 + SO_3$ fiind 1,31—1,50 față de 0,47—0,90 la funcționarea integrală pe păcură (CET Buc.-Sud) și respectiv 1,96—1,28 față de 0,70—1,11 (CET Brazi).

Atît în cazul funcționării cazanului cu păcură sulfuroasă neaditivată, cît și aditivată, regimurile de alimentare mixte păcură-gaz conduc

la un grad de conversie mai ridicat a SO_2 la SO_3 decît la funcţionarea integrală pe păcură.

Prin introducerea aditivului valorile punctului de rouă scad cu 15—20°C în cazul alimentării cazanelor în regim mixt; potenţialul corosiv al gazelor de ardere se reduce cu circa 40%.

Din experimentările efectuate la CET Palas, CET Bucureşti-Sud şi CET Brazi se pot trage concluzii asupra efectelor economice potenţiale ale utilizării aditivului, şi anume:

— reducerea numărului de opriri pentru spălarea preîncălzitoarelor de aer şi a duratelor acestora, ca urmare a încetinirii fenomenului de depunere a cenuşii şi formării unor depuneri friabile uşor de îndepărtat;

— reducerea numărului de reparaţii capitale ale preîncălzitoarelor de aer, datorită diminuării intensităţii procesului de coroziune;

— creşterea duratei de viaţă a supraîncălzitorului convectiv, ca urmare a încetinirii procesului de coroziune de înaltă temperatură;

— scăderea pierderilor la coş prin reducerea excesului de aer şi coborîrea temperaturii la coş, ca urmare a reducerii coroziunilor pe traseul gazelor de ardere.

Extinderea tehnologiei de aditivare, în vederea generalizării pentru toate tipurile de cazane (50 t/h, 100 t/h, 420 t/h, 525 t/h etc.), a impus rezolvarea unor probleme de imediată necesitate.

Astfel, una dintre problemele importante a fost stabilirea modului de injecţie a aditivului în păcură.

Schema de principiu pentru injecţia aditivului în păcură a fost aleasă în funcţie de configuraţia gospodăriei de păcură.

Pentru cazanele mici (50 t/h), unde gospodăria de păcură dotată cu rezervor-tampon de păcură de capacitate 3—10 m^3, dozarea aditivului s-a făcut direct în rezervorul-tampon. Rezervorul de consum aditiv s-a amplasat deasupra rezervorului-tampon de păcură. Dozajul aditivului s-a făcut printr-o conductă de dren, cu ajutorul unui robinet, în conducta de intrare păcură în rezervorul-tampon. Această schemă s-a aplicat la Combinatul de îngrăşăminte chimice Valea Călugărească.

La cazanele de 420 t/h, în prima etapă a experimentărilor, 1977—1978, aditivul a fost diluat cu motorină în proporţie de 1 kg aditiv : 1 l motorină. Pentru dozarea amestecului s-au folosit pompe cu piston tip LEVA şi NDV. Injecţia aditivului s-a făcut fie în aspiraţia pompelor de păcură treapta I (CET Palas), fie în conducta tur păcură la cazane, înaintea ventilului de reglaj presiune (CET Bucureşti-Sud, CET Brazi).

Pentru a se elimina consumul suplimentar de motorină, într-o a doua etapă a experimentărilor (CET Brazi — 1979, CET Bucureşti-Sud — 1980), s-a procedat la diluţia aditivului cu păcură în proporţie 1 : (3...20). Injecţia aditivului s-a făcut cu pompe cu roţi dinţate tip DL 1, în aspiraţia pompelor de alimentare cu păcură a cazanelor.

În urma experimentărilor efectuate cu instalaţiile provizorii de aditivare, la cazanele de 420 t/h, s-a ajuns la concluzia că aditivul de combustie poate fi injectat în păcură, folosindu-se ca element de injecţie pompe cu roţi dinţate de debit 0—500 l/h.

În vederea generalizării tehnologiei de aditivare a păcurii sulfuroase la toate tipurile de cazane din CTE, pe baza temei de proiectare întocmită de ICEMENERG, ISPE a elaborat proiectul-tip de execuţie al instalaţiei de aditivare.

Gospodăria de aditiv poate fi privită ca o anexă a gospodăriei de păcură, pe care o completează şi cu care se încadrează în aceleaşi norme NTS şi PSI.

Stabilirea exactă a punctului de injecţie a aditivului de combustie se face ţinînd seama de caracteristicile de funcţionare a cazanelor şi de schema staţiei de pompare păcură.

Pentru cazanele dotate cu injectoare de păcură fără recirculare sau cu injectare cu retur mic (sub 10%), punctul de injecţie a aditivului s-a ales în aspiraţia pompelor de păcură treapta I. În cazul arzătoarelor cu retur mai mare de 10%, injecţia aditivului se face în aspiraţia pompelor treapta a II-a, iar returul de la cazane este adus în circuitul de alimentare cu păcură înaintea punctului de injecţie a aditivului, urmînd ca acesta să fie adus numai accidental în rezervoare.

Tehnologia de aditivare a păcurii sulfuroase a fost extinsă atît în centralele termoelectrice ale M. E. E., cît şi în centralele termice ale M.I.Ch. (Comb. petrochimic Teleajen, Comb. petrochimic Piteşti, Comb. chimic Fălticeni, Comb. chimic Valea Călugărească).

Problemele ce urmează a fi rezolvate în cadrul acţiunii de generalizare a procedeului de aditivare sînt cele legate de adaptarea procedeului la condiţiile impuse de construcţia şi exploatarea fiecărui tip de agregat.

În cazul cazanelor de 420 t/h, stabilirea dozei optime de aditiv se va face pe baza valorii punctului de rouă acid al gazelor de ardere.

Deoarece nu sînt cunoscute în mod exhaustiv toate implicaţiile ce pot surveni în aplicarea curentă a tehnologiei de aditivare la cazanele de 660 t/h, 800 t/h şi 1000 t/h, stabilirea dozei optime de aditiv la aceste tipuri de cazane se va face pe baza măsurătorilor complexe pe fiecare tip de cazan.

De asemenea trebuie urmărite toate tipurile de cazane un timp mai îndelungat la funcţionarea pe păcură sulfuroasă aditivată, pentru a vedea influenţa aditivului asupra fenomenului de poluare şi reducerea coroziunilor la coş.

Bibliografie

[1] Tirulnikov, L.M. ş.a. *Ob effecktivnosti aliumosilikatnoi prisadki k jidkomu katelnomu toplivu.* Teploenerghetika, 9/1977, p. 40—44.
[2] Ronald, C., Andrade. *Today a fuel treatment programs.* Combustion, dec. 1977.
[3] McMillan, D.B. *Cold end treatment solves air heater corrosion problems.* Combustion, dec. 1977.
[4] Radway, J.E. *A practical review of the cause and control of cold end corrosion and acidic stack emissions in oil-fired boilers.* Combustion, dec. 1977.
[5] Buttner, W. *Application of fuel oil and fuel gas additives in large boilers.* Combustion, dec. 1977.
[6] Neaţu, V. *The influence of the romanian combustion additivate on the high and low temperature deposits and corrosion.* VGB Simpozion 2/3 iunie 1977.

Coroziunea preîncălzitoarelor de aer regenerative la cazanele generatoare de abur funcţionînd pe păcură cu conţinut ridicat de sulf

Prof. dr. ing. **Şt. Ivăşcanu**
şi ing. **A.P Comes** *

1. Consideraţii generale

Combustia păcurii cu conţinut ridicat de sulf (1—4%) în cazanele de abur de mare productivitate şi cu parametri ridicaţi de lucru generează dificultăţi determinate de:

— coroziunea suprafeţelor de schimb de căldură cu temperatura aburului peste 540°C (coroziunea compuşilor de vanadiu şi sodiu sau coroziunea de înaltă temperatură);

— coroziunea suprafeţelor finale de căldură şi a canalelor de evacuare a gazelor de ardere (coroziunea sulfurică sau coroziunea de joasă temperatură);

— acumularea de depuneri pe suprafeţele de schimb de căldură cu reducerea transferului termic.

Intensitatea cu care se desfăşoară procesele de coroziune atît pe suprafeţele cu temperaturi ridicate, cît şi pe suprafeţele cu temperaturi mai scăzute este dependentă de compoziţia păcurii şi de parametrii de lucru ai cazanului [1], [2], [3], [4], [5].

Dacă coroziunea de înaltă temperatură poate fi sesizată numai după 10 000—15 000 ore de funcţionare a cazanului şi are efecte grave la peste 50 000 ore de funcţionare [1], [6], coroziunea de joasă temperatură se manifestă intens la mai puţin de 10 000 ore de funcţionare pentru cazane în care se arde păcură cu un conţinut de 2—3% sulf [1], [5].

Coroziunea de joasă temperatură sau coroziunea sulfurică este determinată de formarea acidului sulfuric în fază lichidă (ca urmare a prezenţei SO_2 şi SO_3) şi afectează în mod deosebit preîncălzitoarele de aer şi canalele de evacuare a gazelor de ardere [1], [5], [6], [7], [8].

La arderea păcurii sulfuroase, componenţii chimici principali în gazele de ardere sînt: N_2, CO_2, H_2O, SO_2, SO_3.

Concentraţiile componenţilor agresivi SO_2 şi SO_3 în gazele de ardere sînt dependente de: conţinutul de sulf şi vanadiu din păcură, excesul de aer la ardere, prezenţa depunerilor şi sarcina cazanului [1], [5].

În tabelul 1 este redată această dependenţă.

Tabelul 1

Nr. crt.	Sarcină cazan t/h	%S în păcură	Caracteristici fizico-chimice					Gaze după ECO pct. rouă acid °C
			CO_2 %	O_2 %	α —	SO_2 ppm	SO_3 ppm	
1	270	2,14	11,0	6,2	1,39	1100	40	171
2	270	2,44	12,4	4,0	1,21	1480	38	176
3	300	1,52	13,2	3,9	1,22	910	14	134
4	300	1,81	12,6	4,6	1,26	980	26	144
5	300	2,24	12,4	4,9	1,28	1050	32	172
6	350	2,30	13,8	3,7	1,20	1400	25	171
7	350	2,43	12,4	5,4	1,33	1450	33	161
8	400	2,43	13,3	4,2	1,23	1600	24	161
9	400	2,46	13,8	3,7	1,14	1600	30	164

Reducerea intensităţii proceselor de coroziune şi diminuarea dificultăţilor generate de acestea în exploatarea cazanelor de abur este posibilă prin: combustia păcurii cu un exces de aer redus, utilizarea aditivilor, protejarea anticorosivă a preîncălzitoarelor de aer prin emailare sau utilizarea ceramicii şi a sticlei la

*) Prof. dr. ing. Ştefan Ivăşcanu este profesor la Facultatea de tehnologie chimică, Institutul politehnic Iaşi; ing. Anton Petru Comes lucrează la Întreprinderea Electrocentrale Constanţa.

confecționarea lor [1], [4], [5], [6], [8], [9], [10], [11]. Eficiența acestor procedee este însă limitată.

Studierea procesului de coroziune care se desfășoară în preîncălzitoarele de aer regenerative (P.A.R.) și stabilirea unor procedee de combatere eficientă implică necesitatea stabilirii mecanismului procesului.

2. Mecanismul procesului de coroziune în P.A.R.

2.1. *Reacții presupuse*

Stabilirea mecanismului de desfășurare a procesului de coroziune necesită identificarea reacțiilor principale care conduc la degradarea materialului metalic.

Tabla metalică din componența rotorului P.A.R. este scăldată ciclic de gazele de ardere și aerul introdus pentru ardere în focarul cazanului.

Sistemul care trebuie luat în considerare este cel format din faza solidă, respectivă fierul, și două faze gazoase, respectiv faza gazoasă din zona gazelor de ardere și faza gazoasă din zona de aer.

Componenții fazei gazoase în zona gazelor de ardere sînt: SO_2, SO_3, O_2, H_2O, CO_2 și N_2, iar în zona de aer: O_2, H_2O, N_2, precum și mici cantități de SO_2, SO_3 și CO_2, pătrunse datorită neetanșeității planului de separație între cele două zone.

Într-un astfel de sistem cu numeroși componenți s-ar putea produce un număr mare de reacții de coroziune. Acest lucru necesită precizarea reacțiilor care constituie procesul de coroziune și ponderea fiecăreia în acest proces, adică identificarea acelor reacții a căror viteză este suficient de mare și în care reactanții nu participă la procese cu viteză mică. Se impune deci luarea în considerare a reacțiilor la care participă reactanții prezenți în sistemul inițial și a reacțiilor în care reactanții apar în urma altor reacții.

În sistemul dat pot fi presupuse următoarele reacții:

$$Fe + 1/2\ O_2 = FeO \quad (1)$$

$$2Fe + 3/2\ O_2 = Fe_2O_3 \quad (2)$$

$$3\ Fe + 2\ O_2 = Fe_3O_4 \quad (3)$$

$$Fe + 2\ H_2O = Fe(OH)_2 + H_2 \quad (4)$$

$$Fe + H_2O = FeO + H_2 \quad (5)$$

$$4\ Fe + 1/2\ N_2 = Fe_4N \quad (6)$$

$$2\ FeO + 1/2\ O_2 = Fe_2O_3 \quad (7)$$

$$Fe + CO_2 + H_2O = FeCO_3 + H_2 \quad (8)$$

$$Fe + SO_2 + O_2 = FeSO_4 \quad (9)$$

$$Fe + CO_2 = FeO + CO \quad (10)$$

$$FeO + CO_2 = FeCO_3 \quad (11)$$

$$Fe_2O_3 + 2CO_2 = 2\ FeCO_3 + 1/2\ O_2 \quad (12)$$

$$FeO + SO_2 + 1/2\ O_2 = FeSO_4 \quad (13)$$

$$Fe_2O_3 + 2SO_2 + 1/2\ O_2 = 2\ FeSO_4 \quad (14)$$

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4 \quad (15)$$

$$Fe + H_2SO_4 + 1/2\ O_2 = FeSO_4 + H_2O \quad (16)$$

$$FeO + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2O \quad (17)$$

$$Fe_2O_3 + 3H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 3H_2O \quad (18)$$

$$Fe_3O_4 + 3H_2SO_4 = 3FeSO_4 + 3\ H_2O + 1/2\ O_2 \quad (19)$$

$$FeCO_3 + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2O + CO_2 \quad (20)$$

$$4\ FeCO_3 + 6\ H_2O + O_2 = 2\ Fe_2O_3 \cdot 3\ H_2O + 4\ CO_2 \quad (21)$$

$$4\ FeSO_4 + 4\ H_2O + O_2 = 2Fe_2O_3 + 4H_2SO_4 \quad (22)$$

2.2. *Termodinamica reacțiilor presupuse*

Cele 22 de reacții sînt reacții presupuse în baza compoziției sistemului: fier — fază gazoasă din zona gazelor de ardere — fază gazoasă din zona de aer.

Pentru a aprecia care din aceste reacții sînt posibile din punct de vedere termodinamic, se impune pentru fiecare reacție în parte calculul entalpiei libere standard în intervalul de temperaturi corespunzător condițiilor din P.A.R.

Algoritmul calculului termodinamic:

$$\Delta_R G^0_T = \Delta_R H^0_T - T\,\Delta_R S^0_T \quad (23)$$

în care

$\Delta_R G^0_T$ este entalpia liberă de reacție în condiții standard la temperatura T;

$\Delta_R H^0_T$ — entalpia reacției în condiții standard la temperatura T;

$\Delta_R S^0_T$ — entropia reacției în condiții standard la temperatura T;

$$\Delta_R H^0_T = \Delta_R H^0_{298} + \int_{298}^{T} \sum \nu i \cdot Cpi \cdot \mathrm{d}T \quad (24)$$

$$Cp = f(T) \quad (25)$$

$$\Delta_R H^0_{298} = \sum \nu i \cdot Hfi, \quad (26)$$

unde:

Cpi este căldura specifică a componentei i;

νi — coeficient stoechiometric;

Hfi — entalpia de formare a componentei i;

$$\Delta_R S^0_T = \Delta_R S^0_{298} + \int_{298}^{T} \frac{\sum \nu i \cdot Cpi}{T} \mathrm{d}T \quad (27)$$

$$\Delta_R S^0_{298} = \Sigma\ \nu i \cdot S^0_{mi} \quad (28)$$

unde S^0_{mi} este entropia molară standard a componentei i.

Tabelul 2

Nr. crt.	Reacţia	$\Delta_R G_T^0$ (kcal/mol)			
		323°K	373°K	473°K	598°K
1	$Fe + 1/2\ O_2 = FeO$	−56,621	−57,329	−56,191	−54,435
2	$2\ Fe + 3/2\ O_2 = Fe_2O_3$	−171,21	−173,75	−171,17	−167,46
3	$3\ Fe + 2\ O_2 = Fe_3O_4$	−207,55	−226,21	−223,51	−213,74
4	$Fe + 2\ H_2O = Fe(OH)_2 + H_2$	−46,436	−50,482	−58,574	−68,688
5	$Fe + H_2O = FeO + H_2$	−5,2605	−6,5204	−6,5345	−6,2865
6	$4\ Fe + 1/2\ N_2 = Fe_4N$	2,6080	3,1820	4,3300	5,7650
7	$2\ FeO + 1/2\ O_2 = Fe_2O_3$	−57,971	−59,095	−58,796	−58,598
8	$Fe + CO_2 + H_2O = FeCO_3 + H_2$	−4,8556	−2,4425	−2,2828	8,0771
9	$Fe + SO_2 + O_2 = FeSO_4$	−121,14	−116,66	−107,65	−96,298
10	$Fe + CO_2 = FeO + CO$	4,3150	2,5611	1,5933	0,7036
11	$FeO + CO_2 = FeCO_3$	−2,5940	1,0788	5,8184	11,364
12	$Fe_2O_3 + 2CO_2 = 2\ FeCO_3 + 1/2\ O_2$	52,959	61,837	71,988	84,347
13	$FeO + SO_2 + 1/2\ O_2 = FeSO_4$	−64,898	−59,710	−51,844	−42,243
14	$Fe_2O_3 + 2\ SO_2 + 1/2\ O_2 = 2\ FeSO_4$	−71,825	−60,326	−44,893	−25,888
15	$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$	−36,011	−33,449	−27,889	−20,867
16	$Fe + H_2SO_4 + 1/2\ O_2 = FeSO_4 + H_2O$	−18,252	−17,354	−15,993	−14,328
17	$FeO + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2O$	−51,721	−50,114	−49,891	−49,983
18	$Fe_2O_3 + 3\ H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 3\ H_2O$	67,586	72,658	73,705	74,196
19	$Fe_3O_4 + 3\ H_2SO_4 = 3\ FeSO_4 + 3\ H_2O + 1/2\ O_2$	−42,618	−21,654	−21,053	−26,797
20	$FeCO_3 + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2O + CO_2$	25,355	23,289	18,772	13,135
21	$4\ FeCO_3 + 6\ H_2O + O_2 = 2\ Fe_2O_3 \cdot 3\ H_2O + 4\ CO_2$	−122,25	−120,96	−118,16	−114,33
22	$4\ FeSO_4 + 4\ H_2O + O_2 = 2\ Fe_2O_3 + 4\ H_2SO_4$	−41,917	−50,592	−50,885	−50,124

Utilizînd datele din literatura de specialitate [12], [13] şi efectuînd calculul termodinamic pentru fiecare din reacţiile presupuse în intervalul de temperatură 323—598°K, se obţin rezultatele din tabelul 2.

2.3. *Reacţii posibile în P.A.R.*

Analiza rezultatelor calculului termodinamic indică imposibilitatea desfăşurării unora din reacţiile presupuse. Reacţiile pentru care $\Delta_R G_T^0$ are valoare pozitivă nu se pot desfăşura. Astfel, reacţiile în care CO_2 şi N_2 sînt reactanţi nu sînt posibile şi deci CO_2 şi N_2 nu participă la procesul de coroziune.

Este evident că mărimea $\Delta_R G_T^0$ nu indică şi viteza de desfăşurare a reacţiei, ci doar faptul că o reacţie este mai posibilă decît alta sau sensul ei, determinarea vitezei de desfăşurare a reacţiilor necesitînd măsurători experimentale.

Eliminînd reacţiile pentru care $\Delta_R G_T^0$ este pozitivă şi, implicit, reacţia $FeCO_3$ cu H_2O şi O_2 (21), numărul reacţiilor se reduce la 14.

Sistemul celor 14 reacţii posibile din punct de vedere termodinamic poate fi simplificat în continuare analizînd stabilitatea produşilor de reacţie. În baza datelor din bibliografia de specialitate [14], [15] referitoare la stabilitatea compuşilor fierului, rezultă că în condiţiile de temperatură din P.A.R. reacţiile (1), (3), (4), (5), (7), (13), (17) şi (19) nu se produc.

Din sistemul reacţiilor presupuse se produc şase reacţii, respectiv: (2), (9), (14), (15), (16) şi (22).

2.4. *Reacţii care participă la procesul de coroziune*

Analiza termodinamică şi analiza stabiliăţii produşilor de reacţie au simplificat sistemu reacţiilor presupuse la un sistem de şase reacţii, acestea putînd fi grupate astfel:

a) Reacţie care se produce în zona de aer a P.A.R.:

$$2Fe + 3/2\ O_2 = Fe_2O_3 \qquad (29)$$

b) Reacţii care se produc în zona de gaze de ardere a P.A.R.:

$$Fe + SO_2 + O_2 = FeSO_4 \qquad (30)$$

$$Fe_2O_3 + 2SO_2 + 1/2\ O_2 = 2FeSO_4 \qquad (31)$$

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4 \qquad (32)$$

$$Fe + H_2SO_4 + 1/2\ O_2 = FeSO_4 + H_2O \qquad (33)$$

c) Reacţie care se produce în ambele zone ale P.A.R.:

$$4FeSO_4 + 4H_2O + O_2 = 2Fe_2O_3 + 4H_2SO_4 \qquad (34)$$

Produşii de reacţie corespunzători sistemului celor şase reacţii vor apărea in instalaţia industrială ca produşi hidrataţi. Hidratarea este posibilă atît din cauza apei transportate o dată cu reactanţii (apa din gazele de ardere şi apa din aer), cît, mai ales, datorită apei din

aburul utilizat în operaţia de suflare a P.A.R., operaţie ce se execută frecvent pentru desfundare.

Condiţiile de funcţionare a P.A.R. (trecerea sectoarelor rotorului succesiv prin zona de aer şi zona de gaze) şi desfăşurarea reacţiilor indică un proces ciclic de coroziune.

În schema din figura 1 este reprezentată desfăşurarea ciclică a procesului de coroziune.

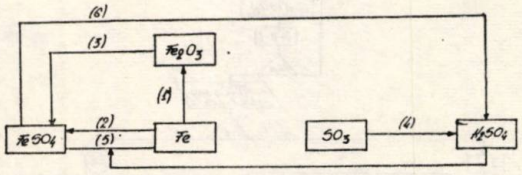


Fig. 1. Desfăşurarea ciclică a procesului de coroziune.

Ciclul procesului de coroziune cuprinde:
— oxidarea fierului cu O_2 în prezenţa H_2O;
— atacul SO_2 asupra fierului în prezenţa O_2;
— atingerea punctului de rouă acid şi formarea H_2SO_4;
— atacul H_2SO_4 asupra fierului în prezenţa O_2;
— hidroliza $FeSO_4$ cu formare de H_2SO_4 şi Fe_2O_3.

Ecuaţiile caracteristice pentru fiecare zonă sînt:

a) Pentru zona de aer

$$[O_2 + H_2O + N_2]_g + [Fe]_s \rightarrow [Fe_2O_3]_s + \\ + [O_2 + H_2O + N_2]_g$$

b) Pentru zona de gaze de ardere

$$[SO_2 + SO_3 + O_2 + CO_2 + H_2O + N_2]_g + \\ + [Fe + Fe_2O_3]_s \rightarrow [FeSO_4 + Fe_2O_3]_s + \\ + [N_2 + CO_2 + H_2O + SO_2]_g + \\ + [H_2SO_4 + H_2O]_l$$

c) Hidroliza $FeSO_4$ în ambele zone

$$[FeSO_4]_s + [O_2 + H_2O]_g \rightarrow [H_2SO_4]_l + \\ + [Fe_2O_3]_s + [O_2 + H_2O]_g$$

Pe baza celor trei ecuaţii caracteristice se poate scrie reacţia caracteristică a procesului global de coroziune:

$$[SO_2 + SO_3 + CO_2 + O_2 + H_2O + N_2]_g + \\ + [Fe]_s \rightarrow [Fe_2O_3 + FeSO_4]_s + \\ + [SO_2 + CO_2 + O_2 + H_2O + N_2]_g$$

Neglijînd procesele fizice de transformare (adsorbţia, condensarea), procesul global poate fi reprezentat prin sistemul celor şase reacţii considerate ca reacţii participante la procesul de coroziune.

2.5. *Stabilirea reacţiilor independente*

Cele şase reacţii pot fi considerate ca reacţii constitutive ale procesului de coroziune numai în măsura în care sînt reacţii independente.

În literatura de specialitate nu sînt indicate metode de stabilire a reacţiilor independente dintr-un sistem, ci numai metode de determinare a numărului de reacţii independente din sistemul dat.

Pentru sistemul cu şase reacţii chimice şi opt componenţi, calculele pentru determinarea numărului de reacţii independente sînt dificile. Efectuarea calculelor este posibilă apelînd la calculatorul electronic.

În cazul sistemului considerat poate fi utilizată metoda de calcul bazată pe procedeul Gram—Schmidt de ortogonalizare a vectorilor, metodă aplicată la determinarea independenţei ecuaţiilor liniare [16]. Sistemul de ecuaţii liniare asupra căruia se operează este sistemul celor şase reacţii posibile. Corespunzător acestui sistem, se scrie matricea reacţiilor (A_R) de dimensiuni 6×8 (există opt specii chimice), fiecare coloană reprezentînd un vector. Pentru fiecare vector $X_1, X_2, \ldots, X_n$ se obţine pe imprimanta calculatorului un criteriu $L(J)$ cu semnificaţia:

$L(J) = 0$ — vectorul este independent.
$L(J) = 1$ — vectorul este dependent.

Transpunerea pe calculator a procedeului de ortogonalizare a vectorilor necesită matricea reacţiilor (A_R) şi transpusa acesteia (A_R^T). În tabelele 3 şi 4 sînt prezentate (A_R) şi (A_R^T).

Tabelul 3

Componenţi / Reacţia	Fe	O_2	Fe_2O_3	SO_2	$FeSO_4$	SO_3	H_2O	H_2SO_4
$2\,Fe + 3/2\,O_2 = Fe_2O_3$	−2	−3/2	1	0	0	0	0	0
$Fe + SO_2 + O_2 = FeSO_4$	−1	−1	0	−1	1	0	0	0
$Fe_2O_3 + 2\,SO_2 + 1/2\,O_2 = 2\,FeSO_4$	0	−1/2	−1	−2	2	0	0	0
$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$	0	0	0	0	0	−1	−1	1
$Fe + H_2SO_4 + 1/2\,O_2 = FeSO_4 + H_2O$	−1	−1/2	0	0	1	0	1	−1
$4\,FeSO_4 + 4\,H_2O + O_2 = 2\,Fe_2O_3 + 4\,H_2SO_4$	0	−1	2	0	−4	0	−4	4

Programul de calcul se compune dintr-un program principal — fig. 2 — și două subprograme — fig. 3 și 4.

Tabelul 4

Componenți	Reacția					
	$2Fe + 3/2\ O_2 = Fe_2O_3$	$Fe + SO_2 + O_2 = FeSO_4$	$Fe_2O_3 + 2\ SO_2 + 1/2\ O_2 = 2\ FeSO_4$	$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$	$Fe + H_2SO_4 + 1/2\ O_2 = FeSO_4 + H_2O$	$4\ FeSO_4 + 4\ H_2O + O_2 = 2\ Fe_2O_3 + 4\ H_2SO$
Fe	−2	−1	0	0	−1	0
O_2	−3/2	−1	−1/2	0	−1/2	−1
Fe_2O_3	1	0	−1	0	0	−2
SO_2	0	−1	−2	0	0	0
$FeSO_4$	0	1	2	0	1	−4
SO_3	0	0	0	−1	0	0
H_2O	0	0	0	−1	1	−4
H_2SO_4	0	0	0	1	−1	4

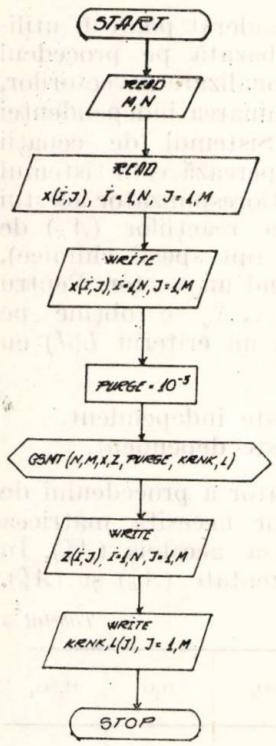


Fig. 2. Programul principal.

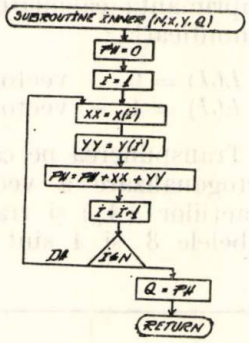


Fig. 3. Subprogramul INNER.

Transpunerea organigramelor pe calculator a fost făcută prin intermediul limbajului de programare FORTRAN.

Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 5.

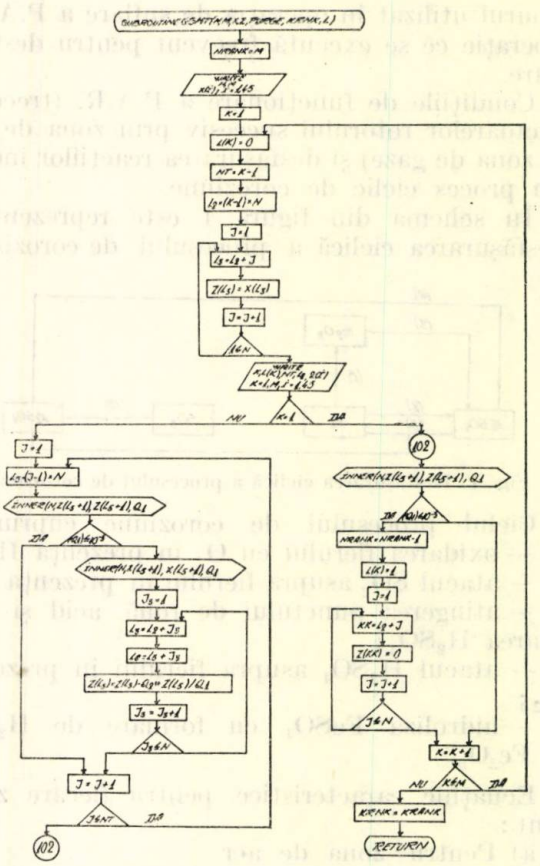


Fig. 4. Subprogramul GSMT.

Tabelul 5

```
CALCULATED ORTOG VECTORS
.0000  −.8966  −.2696  .0000  −.6672  .0000
NUMBER LINEARLY INDEP VECT = 4
L VECTOR
0        0        0        1        0        1
STOP
```

Din sistemul considerat cu 6 reacții și 8 componenți rezultă că 4 reacții sînt independente.

Utilizînd același procedeu pentru identificarea celor patru reacții independente, obținem sistemul format din reacțiile:

$$2Fe + 3/2\ O_2 = Fe_2O_3 \quad (35)$$

$$Fe + SO_2 + O_2 = FeSO_4 \quad (36)$$

$$Fe_2O_3 + 2SO_2 + 1/2\ O_2 = FeSO_4 \quad (37)$$

$$Fe + H_2SO_4 + 1/2\ O_2 = FeSO_4 + H_2O \quad (38)$$

Pentru acest sistem rezultatele analizei independenței reacțiilor sînt prezentate în tabelul 6.

Tabelul 6

CALCULATED ORTOG VECTORS

−2.0000	−.8621	.0000	−.1243
−1.5000	−1.0000	−.6295	.0000
1.0000	.0000	−.8705	.0000
.0000	−1.0000	−1.7589	.0000
.0000	1.0000	2.1808	.0000
.0000	−.0357	−.2467	.0000
.0000	−.0268	−.1262	.0000

NUMBER LINEARLY INDEP VECT = 4

L VECTOR

0 0 0 0

STOP

Cele patru reacții independente pot fi utilizate la alcătuirea modelului matematic de desfășurare a procesului de coroziune în P.A.R., model pe baza căruia se poate realiza o optimizare a funcționării P.A.R.

3. Analiza teoretică și experimentală a mecanismului procesului de coroziune

3.1. *Analiza teoretică*

Reacțiile considerate ca alcătuind procesul de coroziune sînt descrise în lucrări referitoare la coroziunea oțelului în atmosfere cu diverse compoziții chimice [17], [18].

În prezența oxigenului și a vaporilor de apă, pe suprafața fierului se formează un strat de rugină :

$$2Fe + 3/2\ O_2 = Fe_2O_3 \qquad (39)$$

$$Fe_2O_3 + H_2O = 2FeOOH \qquad (40)$$

Compoziția ruginei constă din α-FeOOH goethită și γ-FeOOH lepidocrocită, compoziție dependentă de temperatură (în P.A.R. temperatura variază în domeniul 70—240°C pentru zona de aer și 330—150°C pentru zona de gaze).

Vaporii de apă (prezenți în gazele de ardere) condensează pe suprafața plăcilor din P.A.R., formînd un film de lichid cu grosimea de 10—15 μm.

Bioxidul de sulf este absorbit cu ușurință în acest film și se produc reacțiile :

$$Fe + SO_2 + O_2 = FeSO_4 \qquad (41)$$

$$2FeOOH + 2SO_2 + 1/2\ O_2 = 2FeSO_4 + H_2O \qquad (42)$$

La atingerea temperaturii corespunzătoare punctului de rouă acid se produce condensarea acidului sulfuric (temperatura punctului de rouă fiind dependentă de concentrația SO_3 în gaze, vezi tabelul 1).

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4 \qquad (43)$$

Acidul sulfuric se diluează în filmul de lichid de pe suprafața plăcilor și are loc reacția :

$$Fe + H_2SO_4 + 1/2\ O_2 = FeSO_4 + H_2O \qquad (44)$$

Formarea sulfatului presupune dizolvarea fierului în zonele anodice conform procesului de coroziune cunoscut :

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2\ e^-$$

Ionii de fier rezultați pot reacționa cu rugina, formînd magnetita :

$$Fe^{2+} + 8\ FeOOH + 2\ e^- = 3Fe_3O_4 + 4H_2O \qquad (45)$$

Magnetita proaspăt formată este foarte activă și se transformă în rugină :

$$3Fe_3O_4 + 4\ 1/2\ H_2O + 3/4\ O_2 = 9FeOOH \qquad (46)$$

Formarea noii cantități de rugină consumă ioni de Fe^{2+}, ceea ce presupune necesitatea existenței unei cantități de sulfat. Magnetita astfel formată nu creează un strat protector ca în cazul formării ei prin oxidarea directă a fierului.

Sulfatul feros, în prezența oxigenului și a apei, este oxidat cu formare de rugină și acid sulfuric :

$$4FeSO_4 + O_2 + 6H_2O = 4FeOOH + 4H_2SO_4 \qquad (47)$$

Această etapă poate fi hotărîtoare pentru viteza procesului global de coroziune, deoarece acidul sulfuric pus în libertate exercită un efect corosiv continuu.

Prezența continuă a SO_2, SO_3 și a vaporilor de apă în gazele de ardere determină evoluția procesului de coroziune după o lege liniară cu repetarea ciclică a reacțiilor care constituie procesul de coroziune.

3.2. *Analiza experimentală*

Verificarea experimentală a mecanismului procesului de coroziune s-a realizat prin analiza probelor prelevate din instalaţia industrială. Analizele au fost efectuate asupra: aerului introdus pentru ardere, gazelor de ardere la intrarea şi ieşirea din P.A.R., depunerilor de pe plăci şi apei rezultate la spălarea pentru desfundare.

3.2.1. *Compoziţia aerului de ardere la intrare în P.A.R.* Analizele frecvent executate pentru determinarea compoziţiei aerului au pus în evidenţă o compoziţie normală, respectiv: 21% O_2, 78% N_2 şi 1% alte gaze şi impurităţi. Umiditatea relativă a aerului a fost cuprinsă în intervalul 88% — 74% (zona marină Constanţa).

Scăldarea rotorului P.A.R. în zona de aer de un aer cu umiditate mare favorizează reacţiile de formare a ruginii (reacţiile 39 şi 40).

3.2.2. *Compoziţia gazelor de ardere la intrare şi ieşire din P.A.R.* Determinările de compoziţie chimică a gazelor la intrarea şi ieşirea din P.A.R. scot în evidenţă lipsa SO_3 şi scăderea substanţială a concentraţiei SO_2 la ieşire. În tabelul 7 sînt prezentate rezultatele măsurătorilor pentru determinarea compoziţiei gazelor la intrarea şi ieşirea din P.A.R.

Absenţa SO_3 la ieşire denotă condensarea completă a acestuia la atingerea punctului de rouă acid (reacţia 43).

Reducerea considerabilă a conţinutului SO_2 în gaze la ieşirea acestora din P.A.R. se explică prin consumul acestuia în reacţiile cu fierul şi rugina (reacţiile 41 şi 42).

Desigur, concentraţiile componenţilor la ieşirea gazelor de ardere sînt afectate de infiltraţiile de aer ce se produc în P.A.R.

3.2.3. *Compoziţia depunerilor de pe plăcile P.A.R.* După un număr relativ redus de ore de funcţionare, pe suprafaţa plăcilor metalice din P.A.R. se formează importante cantităţi de depuneri de diferite culori: negru, cenuşiu, brun-roşcat, verde, alb. Grosimea stratului de depuneri nu este uniformă nici pe direcţia razei şi nici pe înălţime. Varietatea de culori indică prezenţa mai multor compuşi chimici. În tabelul 8 sînt prezentate rezultatele analizei chimice a unor depuneri prelevate de pe plăcile P.A.R. după 672 ore de funcţionare a cazanului cu păcură conţinînd 2,2—2,8% sulf.

Analiza chimică a depunerilor arată că acestea sînt formate în principal din sulfat de fier şi rugină. Se constată că la partea superioară a rotorului P.A.R. predomină rugina, iar la partea inferioară, sulfatul. De asemenea se poate constata şi o diferenţă de compoziţie pe direcţia razei. În zona de mijloc, unde curentul de aer şi gaze este mai puternic, predomină rugina. În compoziţia depunerilor analizate s-au mai găsit: Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, SiO_2.

3.2.4. *Analiza apei rezultate după spălarea P.A.R.* Periodic apare necesitatea spălării P.A.R. pentru desfundare. Spălarea se realizează cu apă alcalinizată cu NaOH.

În tabelul 9 sînt prezentate rezultatele analizelor la spălarea P.A.R. după 672 ore de funcţionare a cazanului cu păcură conţinînd 2,2—2,8% sulf.

Probele au fost prelevate pe parcursul spălării P.A.R. după: 15; 30; 60; 90; 120; 150; 180 minute de la începerea spălării.

Tabelul 7

Sarcină cazan t/h	%S în păcură	Gaze la intrare în P.A.R.					Gaze la ieşire din P.A.R.				
		CO_2 %	O_2 %	α —	SO_2 ppm	SO_3 ppm	CO_2 %	O_2 %	α —	SO_2 ppm	SO_3 ppm
270	2,44	12,4	4,0	1,21	1480	38	10,5	7,0	1,46	132	—
300	2,24	12,4	4,9	1,28	1050	32	10,3	7,2	1,48	108	—
350	2,30	13,8	3,7	1,20	1400	25	9,8	7,8	1,55	119	—
400	2,43	13,3	4,2	1,23	1600	24	10,0	8,0	1,57	124	—

Tabelul 8

Componenţi	Partea inferioară (zona rece)			Partea superioară (zona caldă)		
	lîngă ax	mijloc	periferie	lîngă ax	mijloc	periferie
Fe total %	22,75	59,79	33,07	35,92	79,27	42,63
Fe^{2+} %	22,10	32,66	23,79	8,24	40,44	31,43
Fe^{3+} %	0,65	27,13	9,28	27,68	38,83	11,20
SO_4^{2-} %	46,36	5,27	37,13	0,88	3,51	2,72

Aciditatea pronunţată a apei la ieşirea din P.A.R. indică desfăşurarea reacţiei de hidroliză a sulfatului de fier (reacţia 47).

Formarea unor cantităţi mari de soluţie diluată de acid sulfuric în timpul operaţiei de spălare pentru desfundare determină un atac corosiv puternic asupra plăcilor metalice din rotorul P.A.R.

Tabelul 9

Caracteristici	1	2	3	4	5	6	7
pH	1,5	2,0	2,5	2,5	3,0	4,0	6,5
Cond. el. μS/cm	60.000	43.800	18.600	15.200	9.200	7.300	3.100
SO_4^{2-} (mg/l)	5.091	5.010	4.200	3.950	3.410	3.252	1.680
Fe total (mg/l)	11.600	10.000	5.000	2.400	1.500	1.300	1.100

Concluzii

Procesul de coroziune ce se desfășoară în preîncălzitoarele de aer regenerative ale cazanelor generatoare de abur care utilizează drept combustibil păcură cu conținut ridicat de sulf are o desfășurare ciclică.

Evidențierea reacțiilor chimice independente conduce la stabilirea mecanismului procesului de coroziune. Cunoașterea și verificarea experimentală a acestuia oferă posibilitatea elaborării unui model matematic de desfășurare a procesului. Corelarea modelului matematic al procesului de coroziune cu modelul matematic de funcționare a P.A.R. poate oferi o soluție de reducere a intensității procesului de coroziune și creșterea duratei de funcționare a P.A.R.

Bibliografie

[1] Golici, D. și Popescu, R. O.D.E., București, 1970, p. 1—66.

[2] Brandel, A. și Fontaine, P. In: Mitteilungen VGB, 53, nr. 2, 1973, p. 147—151.

[3] Resch, C. In: Brennstoff-Wärme-Kraft, 24, nr. 4. 1972, p. 160—163.

[4] Petrosian. R.A. In: Teploenerghetika, 18, nr. 1, 1972, p. 11—15.

[5] Neațu, V. și Matei, M. În: Energetica 28, nr. 5—6, 1980, p. 213.

[6] Calistru, C. și Leonte, C. *Tehnologia substanțelor anorganice.* EDP, București, 1972.

[7] Balaika, J. In: VGB, 53, nr. 1, 1973.

[8] Lees. B. și Mustoe, D.H. In: Journal of the Institute of Fuel, 145, nr. 377, 1972, p. 397—406.

[9] Reynaud, P. In: Revue Générale de Thermique nr. 147, 1974, p. 235—244.

[10] Tigankov, S.A. In: Energetica industrială nr. 1, 1972, p. 31—36.

[11] Chatenet, R. In: Mines, 23, nr. 135, 1968, p. 171—174.

[12] Raznjevic, K. *Tabele și diagrame termodinamice* Editura tehnică, București, 1978.

[13] Pavlov, K.F., Romankov, P.G. și Noskov, A.A. *Exerciții și probleme la cursul de procese și aparate. din tehnologia chimică.* EDP, București, 1966.

[14] Negoiu, D. *Tratat de chimie anorganică.* Editura tehnică, București, 1972.

[15] * * * *Manualul inginerului chimist,* vol. II, Editura tehnică, București, 1973.

[16] Henley, E. J. *Material and Energy Balance Computations,* New York, 1969.

[17] Ivăşcanu, Șt. *Coroziune și protecție anticorosivă* Institutul politehnic Iași, 1975.

[19] Kirsch, H. In: VGB 53, nr. 4, 1980, p. 118.

Experimentarea pe modele a stingerii incendiilor de cărbuni autoaprinși în buncărele de depozitare prin utilizarea gazelor de inertizare

Ing. **Șt. Nibeleanu**
și ing. **P. Popescu***)

În vederea studierii posibilității de stingere a cărbunilor autoaprinși în buncărele de depozitare prin utilizarea gazelor de inertizare, au fost efectuate de ICEMENERG, în colaborare cu Centrul de studii și experimentări al Comandamentului pompierilor, cercetări pe un buncăr modelat.

S-au efectuat următoarele experimentări:

Experimentul nr. 1 — Stingerea în interiorul buncărelor de depozitare a incendiilor de cărbuni autoaprinși prin utilizarea azotului ca gaz de inertizare a atmosferei.

Experimentul nr. 2 — Stingerea în interiorul buncărelor de depozitare a incendiilor de cărbuni autoaprinși prin utilizarea bioxidului de carbon ca gaz de inertizare a atmosferei.

La experimentările menționate s-a utilizat sortul de cărbune de Filipești de Pădure, caracterizat printr-o tendință de autoaprindere puternică, putere calorică inferioară 1510 kcal/kg, temperatură de mocnire 210°C, conținut de produse volatile 25,20%, conținut de cenușă la anhidru 53%.

Dispozitivul experimental utilizat a constat dintr-un buncăr metalic modelat, având un volum de 0,47 m^3 în care s-au fixat la niveluri variabile un total de opt sonde de temperatură echipate cu termocuple Ni—NiCr. Pentru urmărirea procesului de propagare a căldurii de la masa cărbunelui autoaprins la pereții buncărului de depozitare, s-au prevăzut suplimentar patru puncte de măsură a temperaturii, amplasate pe fiecare latură.

*) Ing. St. Nibeleanu este cercetător științific principal la ICEMENERG; ing. Petre Popescu lucrează la Centrul de studii și experimentări al Comandamentului pompierilor.

Pentru înregistrarea evoluției temperaturilor în cele 12 puncte s-a utilizat un aparat tip FEA cu compensare de temperatură.

Șarjele de cărbune experimentate au fost în greutate de circa 400 kg, ceea ce a asigurat o încărcare termică medie de $1{,}36 \times 10^6$ kcal/m^3 volum, situată în limitele uzitate în exploatarea termocentralelor care folosesc combustibili inferiori.

Experimentul nr. 1

Pentru declanșarea și accelerarea evoluției fenomenului de ardere mocnită a cărbunilor depozitați, s-a utilizat procedeul de ardere inițiată.

Sursa de inițiere utilizată, care a constat din 10 kg lemne sub formă de jar și 10 litri motorină, s-a amplasat în zona mediană și inferioară a buncărului, ceea ce a asigurat în fiecare din aceste puncte sarcini termice concentrate totalizînd 140 000 kcal, și care a fost repetată. În aceste condiții s-a înregistrat o evoluție a diagramei de temperaturi, creșterea temperaturilor indicînd valori de la 100 la 600°C în perioada de inițiere și, respectiv, pînă la 360°C în perioada de regim. Regimul de temperaturi astfel obținut a confirmat dezvoltarea procesului de ardere mocnită, caracterizat prin formarea și combustionarea substanțelor volatile, ceea ce a asigurat generarea unor cuiburi de foc în masa de cărbune depozitat.

Procesul de ardere a fost lăsat să evolueze liber timp de 5 zile pentru generalizarea lui în interiorul buncărului, în tot acest timp observîndu-se emanații puternice de gaze și fum.

Pe focarul astfel dezvoltat s-a procedat la testarea eficienței în stingerea azotului industrial avînd concentrații remanente de oxigen. Astfel, a fost utilizat experimental azot, avînd o concentrație de 7%, 2% și, respectiv, 0,1% oxigen, care a fost insuflat în masa de cărbune la presiunea de 0,5 bar cu un debit de 1,15 m^3/h, ceea ce a asigurat o viteză de circulație în strat care a variat, în funcție de secțiunea buncărului, de la 10 mm/s la 0,26 mm/s.

În figura 1 este redată vederea de ansamblu a buncărului-model folosit la experimentări, iar in figura 2 vederea amplasării termocuplelor interioare în buncăr. În figura 3 se arată etanșarea în locul de introducere a gazelor de inertizare.

Efectul de stingere obținut în fiecare experiment în parte a fost următorul:

— În cazul utilizării azotului cu concentrație de 7% oxigen, efectul de stingere a fost nesatisfăcător, în sensul asigurării unui gradient de scădere a temperaturii în medie de numai 2,70°C/h, fapt datorat în principal întreținerii arderii mocnite a cărbunilor pe seama consumării oxigenului prezent în gazele de inertizare

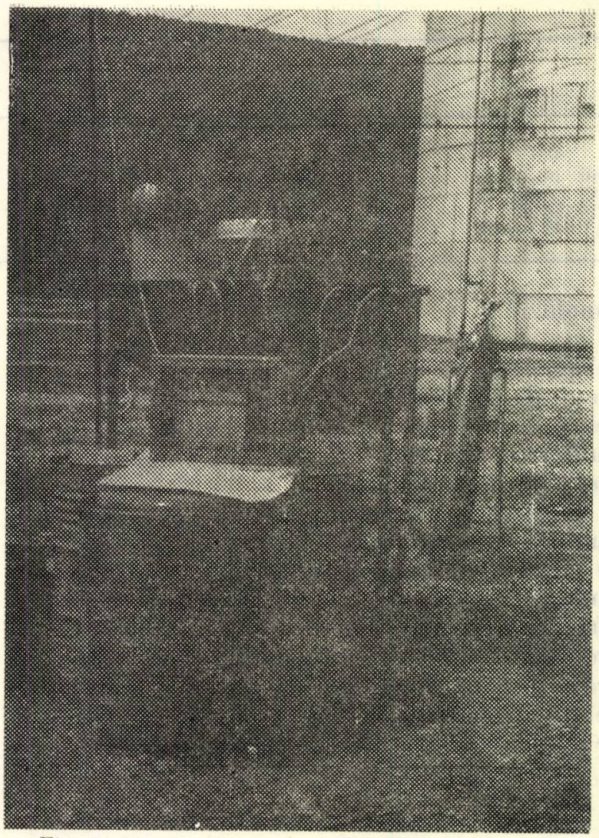


Fig. 1. Stand pentru testarea stingerii incendiilor pe buncăr-model cu gaze de inertizare.

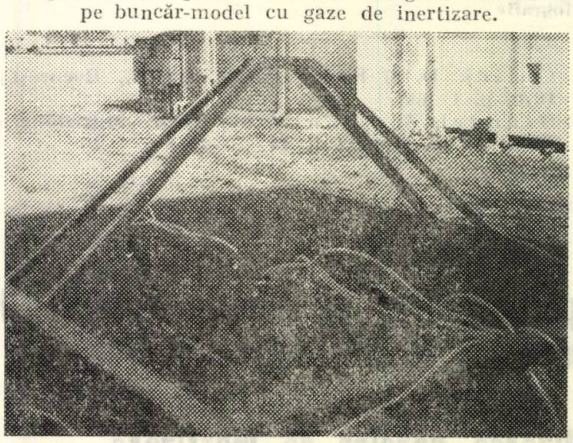


Fig. 2. Vedere interioară a buncărului model.

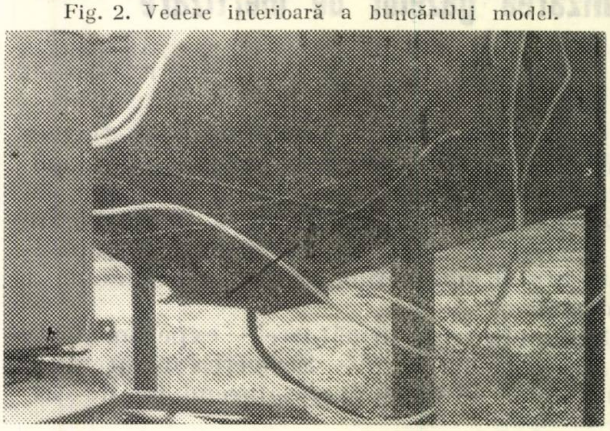


Fig. 3. Izolarea buncărului în partea inferioară în vederea inertizării.
1 — etanșare cu lut a jocurilor dintre șibăr și buncăr.

insuflate. Evoluția fenomenului este prezentată în diagrama din figura 4.

— În cazul utilizării azotului cu concentrația de 2% oxigen, evoluția stingerii a fost similară cu cea din experimentul precedent, cu mențiunea că gradientul de temperatură a înregistrat o creștere pînă la 8°C/h. Fenomenul este prezentat în figura 5.

— În cazul utilizării azotului cu concentrația de 0,1% oxigen, eficiența stingerii a fost ridicată, în sensul asigurării scăderii temperaturii cu un gradient mediu de 19,4°C/h.

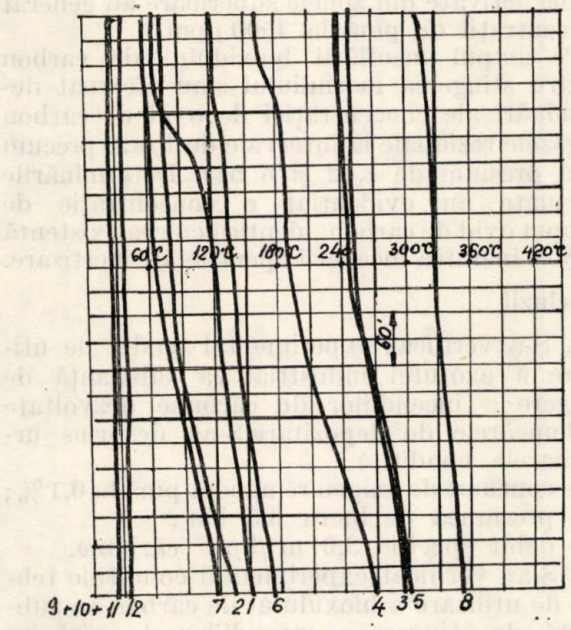


Fig. 4. Fragment diagramă cu efectul inertizării în condițiile insuflării de azot la presiunea de 0,5 bar și cu conținut de oxigen de 7%.

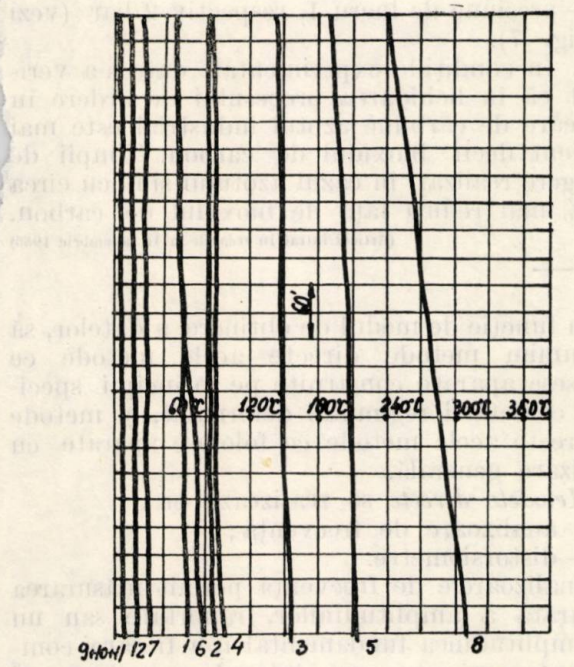


Fig. 5. Fragment diagramă cu efectul inertizării în condițiile insuflării de azot la presiunea de 0,5 bar și un conținut de oxigen de 2%.

Astfel, într-un focar avînd temperaturi medii de 286—320°C — conform diagramei din figura 6 — s-a insuflat un debit de 3,0 $m^3/h/m^3$ cărbune-azot timp de 13 ore la o presiune de 0,5 bar, cînd s-a obținut o scădere a temperaturii pînă la 60°C, respectiv oprirea fenomenului de ardere mocnită și scăderea în continuare a temperaturii în buncăr.

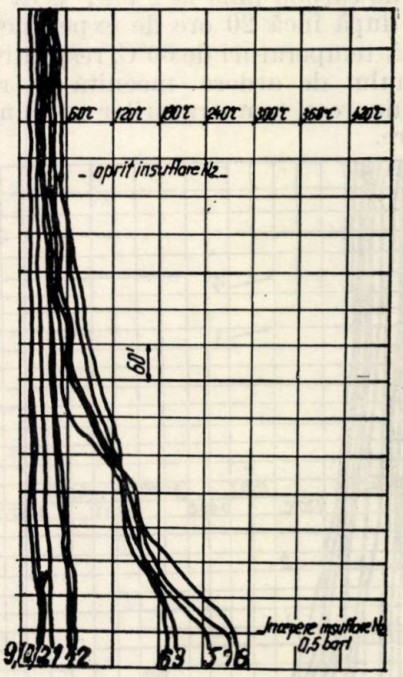


Fig. 6. Diagramă de stingere a focarelor de ardere mocnită în buncăr modelat,cu azot conținînd 0,1% oxigen la presiunea de 0,5 bar.

S-a mai efectuat de asemenea un set de experimentări în vederea stabilirii presiunii optime de insuflare a azotului în buncăr. Cu această ocazie s-a constatat că la presiuni mai mari de 5 bar are loc reactivarea focarelor de ardere, optimul de stingere fiind înregistrat la presiunea de 0,5 bar.

Experimentul nr. 2

Acest experiment s-a organizat în vederea aprecierii eficienței de stingere a bioxidului de carbon ca gaz de inertizare.

În acest scop, cărbunele de Filipești de Pădure a fost lăsat să evolueze liber în proces de autoaprindere timp de zece zile, ceea ce a asigurat un regim de 400—100°C.

Peste focarul dezvoltat s-a procedat la experimentări de eficiență în stingere și de stabilire a consumului specific de gaz. Totodată, dată fiind posibilitatea apariției oxidului de carbon în gazele reziduale prin reducerea bioxidului de carbon de către masa de cărbune aprins, s-au efectuat și determinări ale concentrației acestuia.

Astfel, într-un focar avînd temperaturi medii pînă la 400°C — conform diagramei (fig. 7) — s-au insuflat 4,5 kg/h/m³ cărbune-bioxid de carbon timp de 12 ore cu o suprapresiune de 1 bar, cînd s-a obținut o scădere a temperaturii în buncăr pînă fa 140°C, respectiv un gradient mediu de 16°C/h. Pentru păstrarea gradientului de temperatură în limite apropiate, a fost necesară mărirea suprapresiunii de insuflare a bioxidului de carbon pînă la 2 bar, ceea ce a permis ca, după încă 20 ore de experimentare, să se obțină temperaturi de 60°C, respectiv oprirea fenomenului de ardere mocnită și reducerea în continuare a temperaturilor în buncăr, fără inertizare.

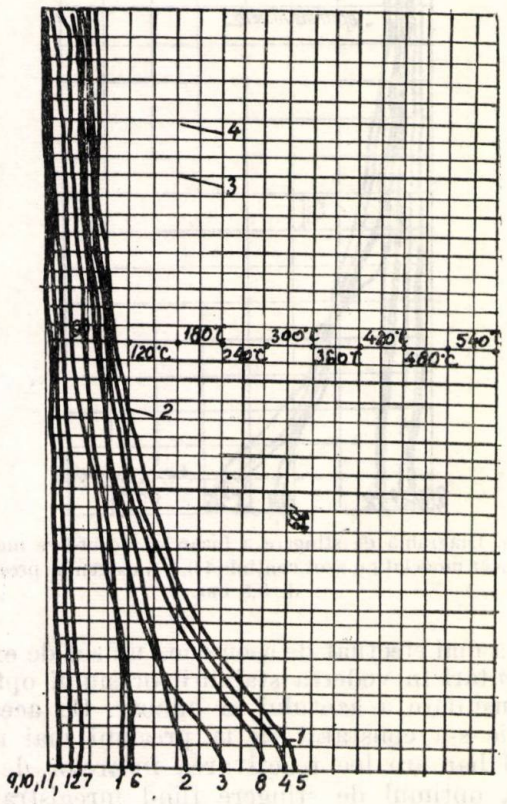


Fig. 7. Diagramă de stingere a focarelor de ardere în buncăr modelat, cu CO_2.
1 — insuflare cu presiune de 1 bar; *2* — creșterea presiunii de insuflare la 2 bar; *3* — se consideră focul stins; *4* — se oprește insuflarea cu CO_2.

În vederea evidențierii prezenței oxidului de carbon în gazele de ardere, s-au efectuat determinări ale concentrației acestuia în perioada de evoluție liberă a focarului, cît și pe timpul insuflării bioxidului de carbon. În timpul arderii libere a cărbunelui s-au constatat concentrații variabile ale oxidului de carbon, în funcție de poziția focarului în buncăr și a intensității de combustie.

Astfel, focarele dezvoltate în zonele profunde ale buncărului au generat concentrații de oxid de carbon de 22 ppm, în timp ce focarele puternic activate din zonele superioare au generat concentrații de pînă la 4500 ppm.

Pe timpul insuflării bioxidului de carbon pentru stingerea incendiului s-au efectuat determinări ale concentrației de oxid de carbon în gazele reziduale la intervale de 1 oră, precum și la presiuni de 1, 2 și 5 bar. Determinările efectuate au evidențiat o concentrație de 22 ppm oxid de carbon, identică cu cea existentă în gaze înaintea începerii operației de inertizare.

Concluzii

1. S-a verificat experimental modul de utilizare a azotului industrial ca substanță de stingere a incendiilor de cărbune dezvoltate în buncărele de depozitare.S-au desprins următoarele condiții :
— conținut de oxigen remanent pînă fa 0,1 %;
— presiunea de lucru 0,5 bar;
— debit specific 3,0 $m^3/h/m^3$ cărbune.

2. S-au verificat experimental condițiile tehnice de utilizare a bioxidului de carbon ca substanță de stingere a incendiilor de cărbune dezvoltate în buncărele de depozitare, și anume :
— debit specific 4,5 $kg/h/m^3$ cărbune;
— presiune de lucru 1, respectiv 2 bar (vezi și fig. 7).

3. În condițiile experimentale date s-a verificat că în lichidarea procesului de ardere în buncăre de cărbune azotul industrial este mai eficient decît bioxidul de carbon. Timpii de stingere realizați în cazul azotului sînt cu circa 50 % mai reduși față de bioxidul de carbon.

(Articol intrat în redacție la 10 noiembrie 1980)

O apreciere critică a metodelor experimentale de evaluare a regimului deformant

Ing. **Marius Popescu** *)

Pentru determinarea efectelor regimului deforformant este necesar și suficient să se cunoască intervalul de variație a amplitudinii fiecărei armonici, inclusiv fundamentala, care este cuprinsă în mărimile electrice tensiune și curent.

În funcție de modul de obținere a datelor, să denumim metode directe acele metode ce folosesc aparate construite pe principii specifice cercetării regimului deformant, și metode indirecte acele metode ce folosesc aparate cu utilizare generală.

Metodele directe se realizează cu :
— analizoare de frecvență;
— distorsiometre.

Analizoarele de frecvență permit măsurarea separată a amplitudinilor, raportate sau nu la amplitudinea fundamentalei, a fiecărei componente armonice, cu ajutorul unor detectori selectivi. Realizarea tehnică a acestora din urmă conduce la :

*) Ing. Marius Popescu este cercetător științific la ICEMENERG.

— analizoare în timp real (cu filtre în paralel), care folosesc un sistem de n filtre acordate pe frecvențe egale cu multipli ai frecvenței fundamentale și care extrag simultan din mărimea electrică cele n componente armonice;

— analizoare secvențiale (cu baleiere) ce folosesc un singur filtru, care lasă să treacă succesiv fiecare componentă armonică din mărimea electrică, fie prin acordarea automată a filtrului pe cele n frecvențe, fie prin acordarea manuală;

— analizoare cu heterodinare, analizoare cu filtru dispersiv, analizoare cu compresie de timp și analizoare prin corelație.

Distorsiometrele permit măsurarea valorii efective a tuturor componentelor armonice ale mărimii electrice din care s-a extras fundamentala și raportarea ei la valoarea efectivă fie a fundamentalei, fie a mărimii electrice, obținîndu-se coeficientul de distorsiune. Performanțele analizoarelor de frecvență și ale distorsiometrelor sînt afectate în principal de variația frecvenței fundamentale a mărimii electrice analizate. Pentru înlăturarea acestui neajuns, trebuie să se realizeze acordul automat al detectorului selectiv pe valoarea reală a frecvenței fundamentale.

Metodele indirecte se realizează cu:

— osciloscoape;

— înregistratoare.

Osciloscoapele permit observarea și măsurarea valorilor instantanee ale mărimilor electrice în funcție de timp. Reprezentarea valorilor instantanee se face cu cel puțin două fascicole electronice (tensiune și curent) pe ecranul unui tub catodic.

În scopul realizării ulterioare a analizei în frecvență a mărimilor electrice, reprezentarea instantanee pe ecranul catodic se fotografiază sau se filmează.

înregistratoarele permit observarea, măsurarea și înregistrarea mărimilor electrice în funcție de timp. Realizarea tehnică a măsurării și înregistrării mărimilor electrice conduce la:

— înregistratoare galvanometrice, care folosesc un mecanism magnetoelectric de măsurare și un sistem de scriere directă (peniță cu cerneală, pix cu pastă) sau metode de imprimare electrică, termică ori prin presiune;

— înregistratoare galvanometrice fotografice, care folosesc pentru măsurare un număr de galvanometre magnetoelectrice cu oglindă montate într-un bloc magnetic termostatat, iar pentru înregistrare fie o hîrtie fotosensibilă la radiația ultraviolet a unei lămpi cu vapori de mercur — developarea realizîndu-se în momentul expunerii la lumina ambiantă —, fie hîrtie fotografică cu developare chimică, în care caz se folosește un bec cu incandescență; lumina produsă de sursele luminoase este reflectată de oglinzile galvanometrelor, trece printr-un sistem de lentile și prisme și cade pe suprafața fotosensibilă a hîrtiei de înregistrare;

— înregistratoare magnetice, care sînt similare magnetofoanelor și casetofoanelor uzuale;

— servoînregistratoare, care sînt aparate cu sisteme de urmărire a valorii mărimii electrice măsurate.

Principala deficiență a utilizării metodelor indirecte în evaluarea regimului deformant constă în aceea că se folosesc aparate de măsură care furnizează mărimi reprezentate în domeniul timp, cînd este nevoie de mărimi analizate în domeniul frecvență.

Trecerea mărimilor electrice din domeniul timp în domeniul frecvență se realizează cu ajutorul transformatei Fourier. Practic, aceasta se realizează prin analiza grafică a formelor mărimilor instantanee înregistrate, adică se determină coeficienții Fourier ai seriei trigonometrice asociate funcției analitice ce descrie mărimile analizate.

Etapa de analiză grafică este afectată de erori sistematice mari în comparație cu precizia aparatelor de măsură.

Pentru eliminarea acestora este absolut necesar ca la fiecare organizare a unei astfel de analize, să se realizeze mai întîi determinarea nivelului de erori sistematice introduse de:

— operator (acuitate vizuală, deprinderi de acurateţe, îndemînare generală, rezistență la monotonie);

— instrumente de lucru (creion, pix cu pastă, stilou, linie, echer 90°, riglă gradată);

— programul de calcul.

În ansamblu, raportate la cerințele actuale ale celei de-a doua etape a revoluției științifico-tehnice, metodele indirecte de evaluare a fenomenelor datorate regimului deformant sînt perimate, ele fiind încă tributare:

— unui canal de transmitere a informației prea lung și puternic divizat între mărimea electrică primară și cea dorită;

— ocupării unui mare număr de oameni ai muncii în raport cu tendințele actuale ale structurării socio-profesionale;

— folosirii de mijloace de transport speciale pentru deplasarea unei aparaturi numeroase la locul de măsurare.

În funcție de rezultatele măsurărilor efectuate pînă în prezent, se pot face următoarele observații de metodă:

— timpul la care un consumator deformant prezintă distorsiunile maxime pentru tensiune sau/și curent nu poate fi precizat; același lucru este valabil și pentru nivelul maxim al fiecărei componente armonice de tensiune și curent;

— spectrul de frecvențe pentru unda de tensiune analizată în punctul comun de racord este nespecific în raport cu consumatorul deformant analizat; acest lucru se datorează atît existenței în rețeaua de alimentare a unui

spectru de frecvenţe propriu acesteia, cît şi faptului că majoritatea consumatorilor deformanţi produc o gamă largă de frecvenţe; numai în cazul redresoarelor se pot evidenţia 1—2 componente armonice a căror amplitudine este estimată încă din faza de proiectare;

— spectrul de frecvenţe pentru unda de curent a consumatorului deformant studiat este specific în raport cu acesta; determinarea lui trebuie însă asociată cu separarea între regimul deformant de fond, propriu reţelei de alimentare, şi regimul deformant caracteristic consumatorului analizat, prin folosirea unor aparate care să măsoare puteri armonice, cum ar fi PQD-metrul.

Pe baza acestor consideraţii se propune următoarea metodă experimentală de evaluare a regimului deformant:

— se determină în punctul comun de racord al consumatorilor deformanţi şi nedeformanţi nivelul coeficientului de distorsiune al tensiunii, pe o perioadă de o săptămînă în regim de funcţionare de vară şi de iarnă; aparatul folosit poate fi un distorsiometru IEMI tip E—0706; dacă valoarea acestui coeficient este mai mică decît cea admisă prin normativul PE—143/80, cercetarea se opreşte aici; în caz contrar

— se determină spectrul de frecvenţe al undei de curent de la fiecare consumator deformant racordat în punctul analizat, cu ajutorul unui analizor de frecvenţă secvenţial (un astfel de aparat cu reglaj manual se află în curs de omologare la CIRE—SCP); de menţionat că şi sistemul va fi considerat ca un consumator deformant;

— se determină intervalul de variaţie a componentelor armonice de curent rezultate cu ponderea cea mai mare la etapa precedentă, prin folosirea unor filtre acordabile, la ieşirea cărora se conectează un ampermetru magnetoelectric înregistrator; determinarea se face pe o perioadă de o săptămînă în regim de funcţionare de vară şi de iarnă; valorile obţinute se introduc în calculele instalaţiilor de filtrare-compensare; filtrele acordabile sînt în curs de realizare la ICEMENERG în baza colaborării cu CIRE—SCP; rezultatele metodei experimentale propuse vor fi publicate ulterior.

*

Metoda experimentală prezentată de evaluare a regimului deformant este specifică fenomenului analizat şi operativă pentru scopul propus. Ea este realizabilă cu aparatură de concepţie şi fabricaţie românească.

(Articol intrat în redacţie la 2 decembrie 1980)

Surse şi tehnologii noi în energetică

Posibilităţi de valorificare energetică a apelor geotermale de la Băile Herculane*)

Prof. dr. ing. **N. Dănilă**
Şef lucr. ing. **V. Mușatescu**
Şef lucr. ing. **S. Dumitrescu****)

1. Surse şi consumatori

Prin prisma adîncirii deficitului surselor clasice de energie, politica energetică mondială se orientează spre noi surse de energie primară, dintre acestea apărînd a fi de mare interes energia geotermală, al cărei potenţial mondial se evaluează la $2{,}1 \cdot 10^{21}$ kJ, adică circa $72 \cdot 10^{12}$ t c.c. (evaluare 1977).

Forma de energie geotermală exploatabilă cu mijloacele tehnice actuale o reprezintă energia conţinută în aburul, apa supraîncălzită sau apa caldă din subsolul terestru. Procesul valorificării eficiente a acestor resurse este influenţat de o serie de factori, dintre care mai importanţi sînt: temperatura agentului termic, adîncimea de forare, debitul de agent termic extras, caracteristicile tehnice ale consumului, distanţa de transport şi distribuţie etc.

În ţara noastră, unul dintre cele mai interesante bazine geotermale îl reprezintă staţiunea Băile Herculane, unde există izvoare naturale cunoscute din cele mai vechi timpuri, debitele acestora variind între 0,01 şi 98 l/s, iar temperatura apei între 28 şi 60°C.

Mărimea debitului, constanţa sa în timp şi plaja de variaţie a temperaturii surselor limitează numărul de izvoare utilizabile la cele indicate în tabelul 1.

După cum se observă, toate izvoarele folosibile se caracterizează printr-o mineralizare apreciabilă, care, din punct de vedere medical, este un lucru favorabil, dar care, în cazul recuperării căldurii conţinute prin orice mijloc tehnic, pune probleme legate de depuneri şi coroziune acidă a elementelor instalaţiei de recuperare.

*) Comunicare prezentată la cea de-a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din România. Braşov, 4—6 decembrie 1980.

**) Autorii sînt cadre didactice la Institutul politehnic Bucureşti.

Tabelul 1

Izvoare utilizabile pentru valorificare — zona Băile Herculane

Nr. crt.	Izvor	Debit [l/s]			Temperatură [°C] pentru debit			Observații
		max.	med.	min.	max.	med.	min.	
1	Apollo II	10	7,6	5,2	47,9	49,5	51	Mineralizare medie sulfuroasă
2	Diana I și II	2,5	1,5	0,5	49	53,3	57,5	Idem
3	Neptun I + IV	9,4	8,15	6,9	48,8	51,4	54	Mineralizare sulfuroasă ridicată
4	Traian	5,6	4,8	4	50	55	60	Idem

Tabelul 2

Consumatorii probabili ai energiei termice recuperabile

Nr. crt.	Izvor	Consumator	Capacitate (locuri)	Observații
1	Apollo	Hoteluri și pavilioane din zona pieții Hercules	1200	450 locuri cu baie
2	Neptun I + IV	Hotel Hercules	500	
		Restaurant Hercules	—	
		Pavilion hidroterapie	240	
3	Traian	Hotel Afrodita	400	
		Hotel Diana	400	
		Grup UGSR	1460	
		Hotel D.400	400	În curs de realizare

Întrucît este vorba de o stațiune balneo-climaterică, consumatorii probabili ai energiei termice recuperabile din aceste izvoare sînt hotelurile și pavilioanele de tratament, care beneficiază de avantajul concentrării consumului și apropierii de sursă. În acest sens, sînt de luat în considerare consumatorii prezentați în tabelul 2.

2. Soluții de utilizare

Posibilitățile de utilizare a căldurii geotermale sînt multiple, existînd în acest sens o serie de scheme propuse și realizate pe plan mondial.

În cazul stațiunii Băile Herculane, posibilitățile de utilizare a apelor geotermale sînt:

— folosirea căldurii conținute prin transfer;

— folosirea căldurii conținute prin transformare (pompă termică).

Datorită temperaturii reduse a surselor geotermale, folosirea prin transfer a căldurii conținute se poate face numai pentru scopuri menajere și terapeutice. Folosirea prin transformare (pompă termică) a căldurii conținute permite și alimentarea consumatorilor de încălzire.

În afara investițiilor diferite, în criteriul decizional privind alegerea uneia dintre aceste soluții trebuie să se țină seama și de măsura în care este folosit potențialul termic anual al sursei geotermice, măsură exprimată prin „cota anuală de valorificare energetică", C_a.

$$C_a = \frac{Q_v}{Q_p} \qquad (1)$$

unde

Q_v este cantitatea de căldură valorificată anual;

Q_p — potențialul termic anual al resursei, considerînd ca nivel de referință °C.

Ambele cantități de căldură se exprimă în aceleași unități de măsură.

Elementele din relația anterioară se pot calcula cu expresiile:

$$Q_v = q_v^c \cdot \tau_u \qquad (2)$$

și

$$Q_p = q_p^c \cdot 8760 \qquad (3)$$

Deci

$$C_a = \frac{q_v^c}{q_p^c} \cdot \frac{\tau_u}{8760} = c \cdot \frac{\tau_u}{8760} \cdot \qquad (4)$$

unde

q_v^c este cantitatea de căldură valorificată orar în regimul de calcul;

q_p^c — potențialul termic de calcul al resursei;

τ_u — durata de utilizare anuală a căldurii valorificate;

$c = q_v^c/q_p^c$ — cota de valorificare nominală a resursei geotermice.

Valorile cotei anuale de valorificare energetică a surselor sînt trecute în tabelul 3, unde duratele de utilizare s-au preluat din STAS 1907—80, iar cota de valorificare nominală (c) s-a calculat ca raport între ecartul de temperatură utilizabil și temperatura sursei.

Analizînd valorile prezentate în tabelul 3, rezultă că direcţia prioritară de recuperare a potenţialului geotermic o constituie prepararea apei calde menajere, în special cu acumulare, iar disponibilul rămas poate fi folosit pentru încălzire, în funcţie de caracteristicile instalaţiilor de încălzire (ecartul de temperatură utilizabil).

Indiferent de direcţia de valorificare admisă, din cauza mineralizării mari şi agresivităţii apelor din zona Băilor Herculane, cea mai importantă problemă o constituie transferul de căldură dintre apa termală şi alte fluide.

Tabelul 3

Cotele anuale de valorificare energetică a resurselor

Temperatura sursei (°C)	Încălzire				Apă caldă menajeră	
	Ecart de temperatură utilizabil (Δt)				cu acumulare	fără acumulare
	10	20	30	40		
60	0,042	0,084	0,126	0,168	0,776	0,385
55	0,046	0,091	0,137	—	0,762	0,381
50	0,050	0,1	0,151	—	0,745	0,373
45	0,056	0,112	—	—	0,725	0,362
40	0,063	0,126	—	—	0,699	0,349

Din acest motiv, cercetarea s-a desfăşurat în următoarele etape :

— analiza transferului de căldură şi modificarea acestuia în timp, pentru un schimbător de căldură ;

— analiza comportării în timp a unei staţii-pilot care alimentează cu apă caldă menajeră un complex hotelier ;

— studiul experimental al unei instalaţii de încălzire cu pompă termică.

Pînă acum, cercetarea a răspuns primelor două puncte din planul tematic propus.

3. Rezultatele cercetării

Datorită caracteristicilor apelor termale, au fost folosite schimbătoare de căldură cu plăci din oţel inoxidabil, tip TRAP—6, produse de IAUC—Cluj, în urma unor calcule tehnico-economice.

S-a conceput şi realizat un stand experimental pentru determinarea comportării acestor aparate în timp, în condiţiile caracteristicilor deosebite ale apelor termale din zona Băile Herculane şi, în special, nivelul termic realizabil pentru apa încălzită (fig. 1).

Măsurătorile efectuate au pus în evidenţă următoarele :

a) Nivelul termic realizabil în condiţiile unui raport de debite (apă termală răcită/apă încălzită) de 4/1 este de circa 44—45°C, la o temperatură a apelor termale de 49°C.

b) Coeficienţii de transfer de căldură au variat iniţial între 1200 şi 1500 $W/m^2 \cdot K$, în funcţie de debit, faţă de valorile teoretice, de 1500—1700 $W/m^2 \cdot K$ (fig. 2). Aceasta, datorită faptului că schimbătorul de căldură fusese anterior folosit la o altă cercetare.

c) Variaţia coeficientului de transfer de căldură în timp este relativ importantă, acesta reducîndu-se cu 20—25% în decurs de două luni de exploatare continuă aşa cum rezultă din figura 3.

Ţinînd seamă de aceste rezultate, s-a continuat cercetarea şi s-a proiectat şi realizat o instalaţie-pilot de recuperare a căldurii apelor termale, pentru prepararea apei calde menajere, a cărei schemă de principiu este prezentată în figura 4.

În concepţia schemei s-au avut în vedere următoarele :

a) Posibilitatea de recuperare maximă a potenţialului termic al resurselor geotermice,

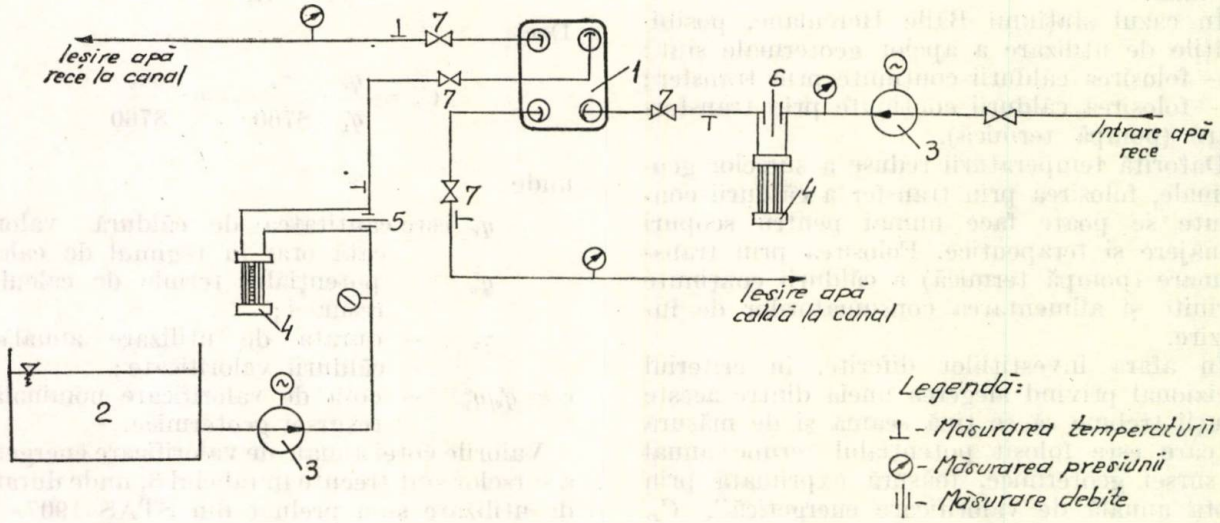


Fig. 1. Schema standului experimental.

1 — schimbător de căldură cu plăci ; *2* — rezervor sau bazin cu apă termală ; *3* — pompă ; *4* — manometru diferenţial ; *5* — diafragmă ; *6* — apometru ; *7* — ventile de reglare.

prin folosirea a două trepte de preîncălzire, prima recuperînd căldura apelor uzate — provenite de la băi — și a doua răcind apa termală în scopul realizării temperaturii necesare procedurilor terapeutice.

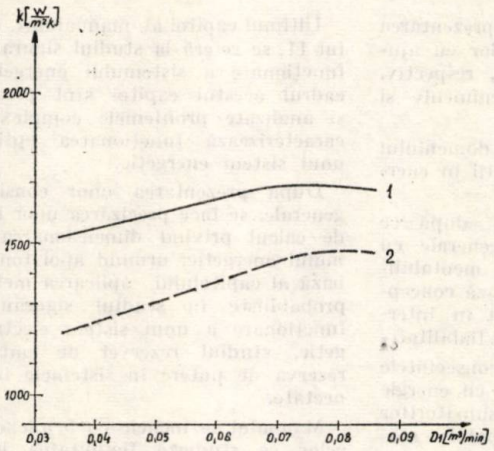


Fig. 2. Variația coeficientului global de schimb de căldură funcție de debit.

1 — curba $k_{teor.}$; *2* — curba $k_{exp.}$

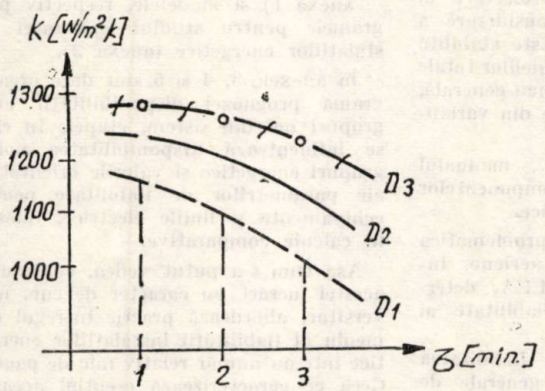


Fig. 3. Variația coeficientului global de transfer de căldură în timp

$D_1 = 25$ l/min; $D_2 = 45$ l/min; $D_3 = 65$ l/min.

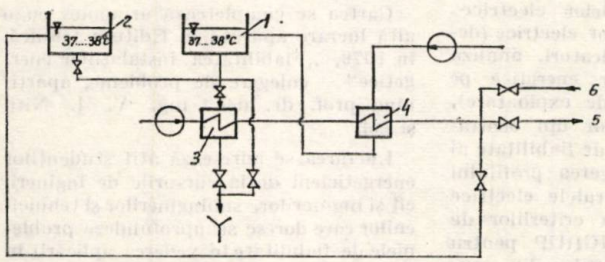


Fig. 4. Schema stației-pilot de la complexul Apollo.

1 — băi termale mineralizate; *2* — băi termale nemineralizate; *3* — prima treaptă de preparare a apei calde menajere; *4*—a doua treaptă de preparare; *5*—spre consumul menajer (pavilioane și restaurant; *6* — alimentare de ajutor (de la centrala termică).

b) Realizarea unei elasticități în funcționare prin prevederea unor legături serie-paralel care să permită folosirea unei trepte sau a două trepte de preîncălzire, precum și realizarea unor regimuri variate de debite.

c) Creșterea cotei anuale de valorificare energetică prin prevederea acumulării apei menajere încălzite.

Această stație-pilot asigură alimentarea cu apă caldă menajeră a unui hotel cu 500 locuri și a unei cantine-restaurant la care se servesc zilnic 1500 mese.

Cercetarea continuă în vederea extinderii rezultatelor pozitive obținute și la alte ansambluri surse-consumatori din stațiunea Băile Herculane.

Concluzii

1. Soluția de recuperare prin schimb de căldură, în vederea preparării apei calde menajere cu acumulare, este viabilă, dînd rezultate complet satisfăcătoare.

2. Din cauza compoziției apelor termale, care le conferă o caracteristică acidă, nu pot fi folosite materiale convenționale, fiind necesară utilizarea oțelului inoxidabil.

3. Schimbătoarele de căldură compacte cu plăci reprezintă una dintre soluțiile cele mai avantajoase de recuperare a potențialului termic al apelor termale. Acest lucru este evidențiat atît din punctul de vedere al suprafeței, care scade la 39,5 %, cît și al masei metalice, care se reduce la 11,8 % față de schimbătoarele de căldură cu țevi.

4. În cazul folosirii pompelor termice este necesară introducerea unui circuit intermediar între apa termală acidă și vaporizatorul pompei, care trebuie să asigure un ecart cît mai mic între temperatura sursei și a agentului intermediar. Acest lucru se poate realiza corespunzător numai cu schimbătoare de căldură cu plăci din oțel inoxidabil.

5. Funcționarea instalației de recuperare este influențată de depunerile de săruri care apar pe partea primară — agent termic încălzitor. Măsurătorile au demonstrat o perioadă optimă de funcționare între două curățiri succesive de 3,5—4 luni.

6. Economia anuală de combustibil preconizată a fi obținută pentru stația-pilot de la complexul hotelier Hercules este de circa 250 t c.c./an. Avînd în vedere că un schimbător de căldură tip TRAP—6 costă 16 000 lei și stația-pilot are 5 schimbătoare, la un preț al păcurii de 500 lei/t c.c., rezultă o economie globală de 100 000 lei/an, deci o recuperare a investiției în mai puțin de 1 an.

Recenzii

V. I. NITU şi C. IONESCU. **Fiabilitatea în energetică.** Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1980, 272 p.

În seria lucrărilor publicate în ţara noastră privind fiabilitatea instalaţiilor energetice se înscrie ca un moment important şi cartea de mai sus — primul curs universitar din ţară şi printre primele lucrări cu caracter didactic publicate pe plan mondial în domeniul fiabilităţii în tehnica energiei.

Şcoala românească de fiabilitate, recunoscută şi apreciată şi pe plan internaţional, s-a impus printr-o mare profunzime, prin caracterul concret şi aplicativ, optimizarea soluţiilor tehnice, adîncirea studiului consecinţelor economice ale diferitelor niveluri de risc ale schemelor şi instalaţiilor energetice.

De-a lungul a peste 20 de ani, literatura tehnică românească în domeniul fiabilităţii energetice s-a îmbogăţit continuu, atît cu articole şi monografii de specialitate, cît şi prin reglementări tehnico-economice sub formă de prescripţii.

Lucrarea la care ne referim este structurată pe 11 capitole şi tratează, într-o concepţie unitară şi sistemică, principalele probleme ale fiabilităţii în energetică. Astfel, după ce în capitolul 1, cu caracter introductiv, se prezintă importanţa studiilor de fiabilitate în corelaţie cu dezvoltarea energetică, în capitolul 2 sînt abordate problemele de exploatare a instalaţiilor energetice — surse importante de informaţii pentru determinarea indicatorilor de siguranţă. În cadrul capitolului 2 este prezentat sistemul informatic de gestiune al instalaţiilor energetice.

Capitolul 3 se ocupă de modelele matematice folosite la calculul indicatorilor de fiabilitate ai instalaţiilor energetice : modelul fizic al avariilor, fiabilitatea elementului simplu (nereparabil şi reparabil), legităţile avariilor elementelor schemelor electromecanice şi domeniile lor de aplicare, estimarea indicatorilor de fiabilitate pe baza datelor statistice, verificarea ipotezelor statistice privind tipul de funcţie de repartiţie al variabilelor aleatorii. În continuare este prezentat calculul fiabilităţii sistemelor : sisteme cu elemente independente, calculul fiabilităţii sistemelor cu elemente independente cu ajutorul schemelor echivalente de fiabilitate, utilizarea proceselor aleatorii Markov cu timp continuu la calculul fiabilităţii sistemelor complexe. Procesele Markov finite cu timp discret şi procesele semi—Markov de parametru continuu sînt prezentate în scopul folosirii la modelarea unor sisteme complexe la care printr-un volum de calcul relativ redus se obţin indicatorii de fiabilitate necesari.

Capitolul se încheie cu prezentarea calculului fiabilităţii sistemelor cu ajutorul metodei Monte-Carlo şi, respectiv, al metodei arborilor de evenimente şi defecţiuni.

Capitolul 4 este rezervat domeniului disponibilităţii şi mentabilităţii în energetică.

În cadrul acestui capitol, după ce se fac cîteva consideraţii generale cu privire la disponibilitatea şi mentabilitatea în energetică, se detaliază conceptele legate de aceste noţiuni în interdependenţa lor cu noţiunea de fiabilitate.

Capitolul 5 se ocupă de consecinţele întreruperilor în alimentarea cu energie electrică şi căldură a consumatorilor exprimate prin daunele probabile, stabilindu-se metodele de evaluare a acestora.

În capitolul 6 sînt analizate metodele tehnico-economice de calcul privind compararea soluţiilor de proiectare în energetică cu luarea în considerare a siguranţei în funcţionare. Este stabilită expresia matematică a cheltuielilor totale actualizate, în forma ei cea mai generală, care se aplică pentru fiecare din variantele comparate.

Începînd cu capitolul 7, manualul abordează fiabilitatea componentelor mari ale sistemelor energetice.

În capitolul 7 se prezintă problematica fiabilităţii liniilor electrice aeriene : indicatorii de fiabilitate ai LEA, determinarea indicatorilor de fiabilitate ai LEA.

Capitolul 8 se referă la fiabilitatea staţiilor electrice : criterii generale de alegere a schemelor staţiilor electrice şi modul de determinare a indicatorilor de fiabilitate pentru acestea.

În capitolul 9 sînt prezentate problemele fiabilităţii centralelor electrice : disponibilitatea centralelor electrice (definirea principalilor indicatori, analiza disponibilităţii grupurilor energtice pe baza datelor statistice de exploatare), fiabilitatea echipamentelor din centralele electrice (indicatori de fiabilitate ai centralelor electrice, alegerea profilului surselor de abur la centralele electrice de termoficare pe baza criteriilor de siguranţă, programul SIGRUP pentru calculul fiabilităţii grupurilor din centralele electrice).

Capitolul 10 este rezervat problemelor fiabilităţii centralelor nuclearoelectrice. După ce se fac consideraţii legate de construcţia, funcţionarea şi specificul CNE, se dezvoltă următoarele aspecte legate de fiabilitatea acestor centrale : calculul indicatorilor de fiabilitate ai CNE, alegerea schemelor electrice ale serviciilor proprii din CNE, alegerea surselor autonome din CNE.

Ultimul capitol al manualului, capitolul 11, se referă la studiul siguranţei în funcţionare a sistemului energetic. În cadrul acestui capitol sînt prezentate şi analizate problemele complexe care caracterizează funcţionarea optimă a unui sistem energetic.

După prezentarea unor consideraţii generale, se face precizarea unor ipoteze de calcul privind dimensionarea sistemului energetic, urmînd apoi fondul de bază al capitolului : aplicarea metodelor probabiliste în studiul siguranţei în funcţionare a unui sistem electroenergetic, studiul rezervei de putere şi rezerva de putere în sistemele interconectate.

Manualul se încheie cu 5 anexe, utile celor ce studiază fiabilitatea instalaţiilor energetice, şi care tratează, pe lîngă partea matematică generală necesară (teoria probabilităţilor şi statistica matematică aplicate la studiul fiabilităţii — anexa 1) şi modelele, respectiv programele pentru studiul siguranţei instalaţiilor energetice (anexa 2).

În anexele 3, 4 şi 5 sînt date organigrama prognozei disponibilităţii unor grupuri noi din sistem, etapele în care se influenţează disponibilitatea noilor grupuri energetice şi valorile orientative ale parametrilor de fiabilitate pentru echipamente şi liniile electrice, folosite în calcule comparative.

Aşa cum s-a putut vedea, conţinutul acestei lucrări, cu caracter de curs universitar, abordează practic întregul domeniu al fiabilităţii instalaţiilor energetice într-un număr relativ mic de pagini. Ceea ce caracterizează esenţial această lucrare este înalta sa ţinută tehnico-ştiinţifică, conjugată cu un accentuat caracter aplicativ al materialului prezentat.

Cartea se completează armonios cu o altă lucrare apărută în Editura tehnică, în 1979, „Fiabilitatea instalaţiilor energetice" — culegere de probleme, aparţinînd prof. dr. doc. ing. V. I. Nitu şi col.

Lucrarea se adresează atît studenţilor energeticieni de la cursurile de ingineri, cît şi inginerilor, subinginerilor şi tehnicienilor care doresc să aprofundeze problemele de fiabilitate în vederea aplicării în domeniul lor de activitate. Prin conţinutul său, cartea este utilă şi economiştilor preocupaţi de implicaţiile economice ale fiabilităţii instalaţiilor energetice.

Calităţile didactice şi ştiinţifice incontestabile ale lucrării fac din aceasta o nouă şi valoroasă contribuţie a autorilor în domeniul energeticii în general şi al fiabilităţii instalaţiilor energetice în special.

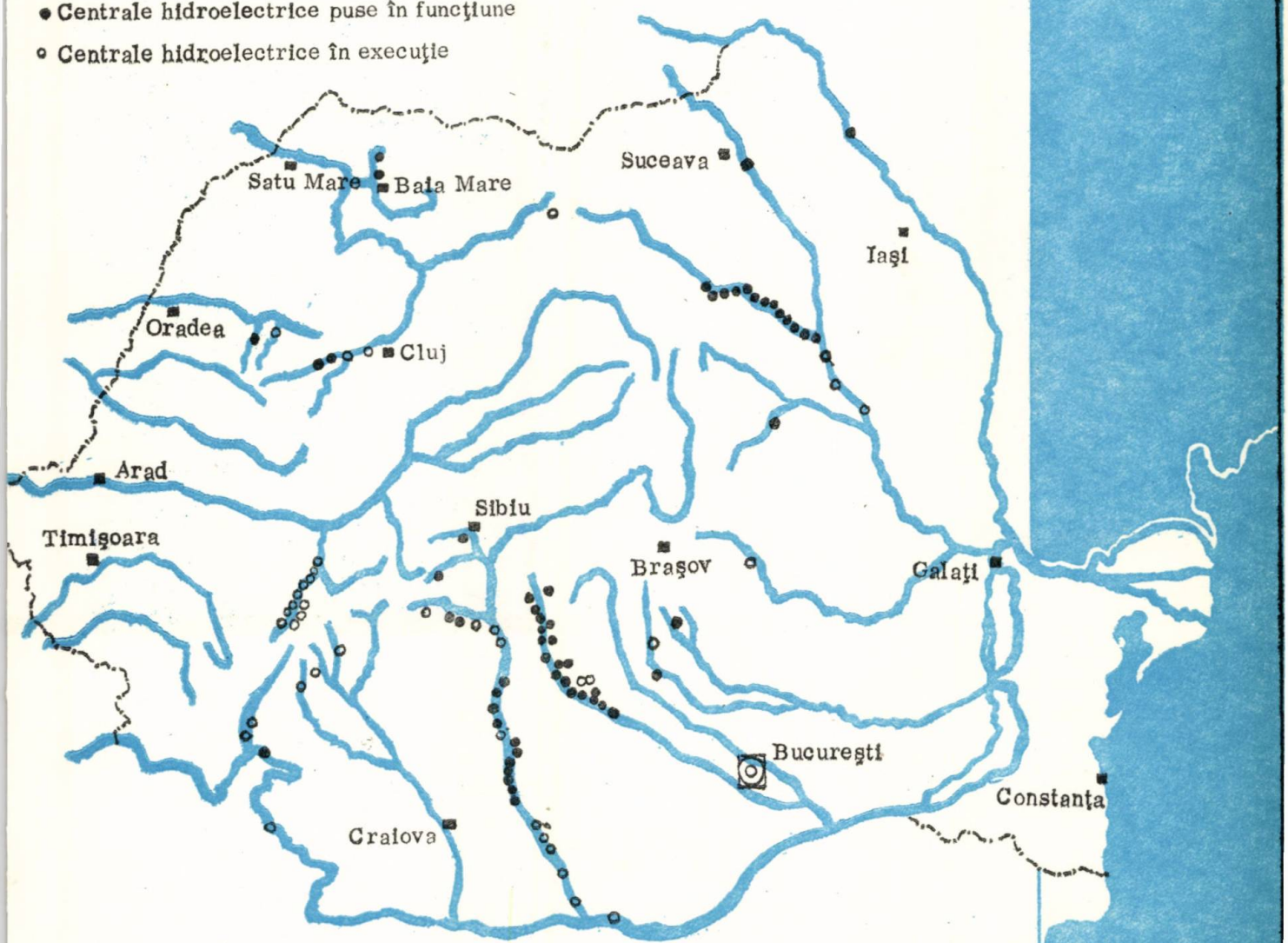
Ing. **Romulus Sfichi**

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE

Trustul de Construcţii Hidroenergetice Bucuresti

• Centrale hidroelectrice puse în funcţiune

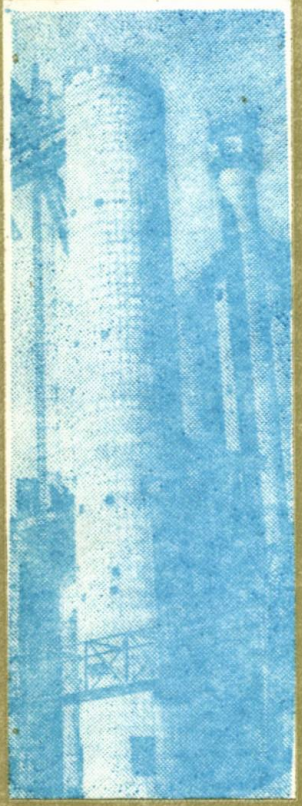
◦ Centrale hidroelectrice în execuţie



REALIZEAZA LUCRARI DE TIPUL :

CENTRALE HIDROELECTRICE	59	executate
	34	în execuţie
BARAJE	61	executate
	40	în execuţie
GALERII HIDROTEHNICE	407	km executaţi
	280	km în execuţie
CONDUCTE SI CANALE	114	km executaţi
	6	km în execuţie

TRUSTUL energoconstrucția



TRUSTUL ENERGOCONSTRUCTIA, dispunînd de o dotare tehnică modernă şi de un important efectiv de muncitori de înaltă calificare, tehnicieni şi ingineri, realizează :

LUCRARI DE TEHNICITATE DEOSEBITA CA :

- turnuri de răcire de mare capacitate cu tiraj natural sau artificial (Q = 42 000 mc/h)
- coşuri de fum de mare înălţime (H = 280 m)
- fundaţii speciale pentru maşini şi utilaje în termocentrale
- staţii de transformare de 400, 200 şi 100 kV
- magistrale şi reţele de termoficare pentru alimentarea marilor centre industriale şi urbane.

LUCRARI HIDROTEHNICE AFERENTE TERMOCENTRALELOR :

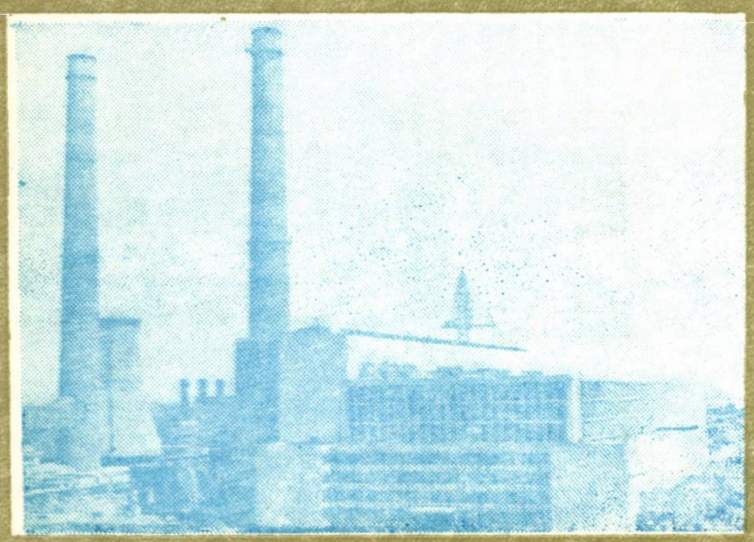
- baraje de diferite dimensiuni şi regularizări de rîuri
- prize şi decantoare şi staţii de pompe pentru debite importante
- canale şi conducte de apă caldă şi rece în soluţii constructive variate.

1982 FEB 1 8

TRUSTUL ENERGOCONSTRUCTIA REALIZEAZA :

- centrale electrice şi de termoficare cu puteri instalate de 50, 200, 300, 625, 800, 1000 şi 2600 MW
- structuri de rezistenţă ale termocentralelor executate din beton armat monolit cu ajutorul cofrajelor glisante
- elemente prefabricate şi construcţii metalice alcătuite din mari subansambluri

LUCRARI DE CONSTRUCTII LA TERMOCENTRALELE ELECTRICE SI DE TERMOFICARE de mare şi foarte mare putere funcţionînd cu cărbune, păcură, gaze, şisturi.



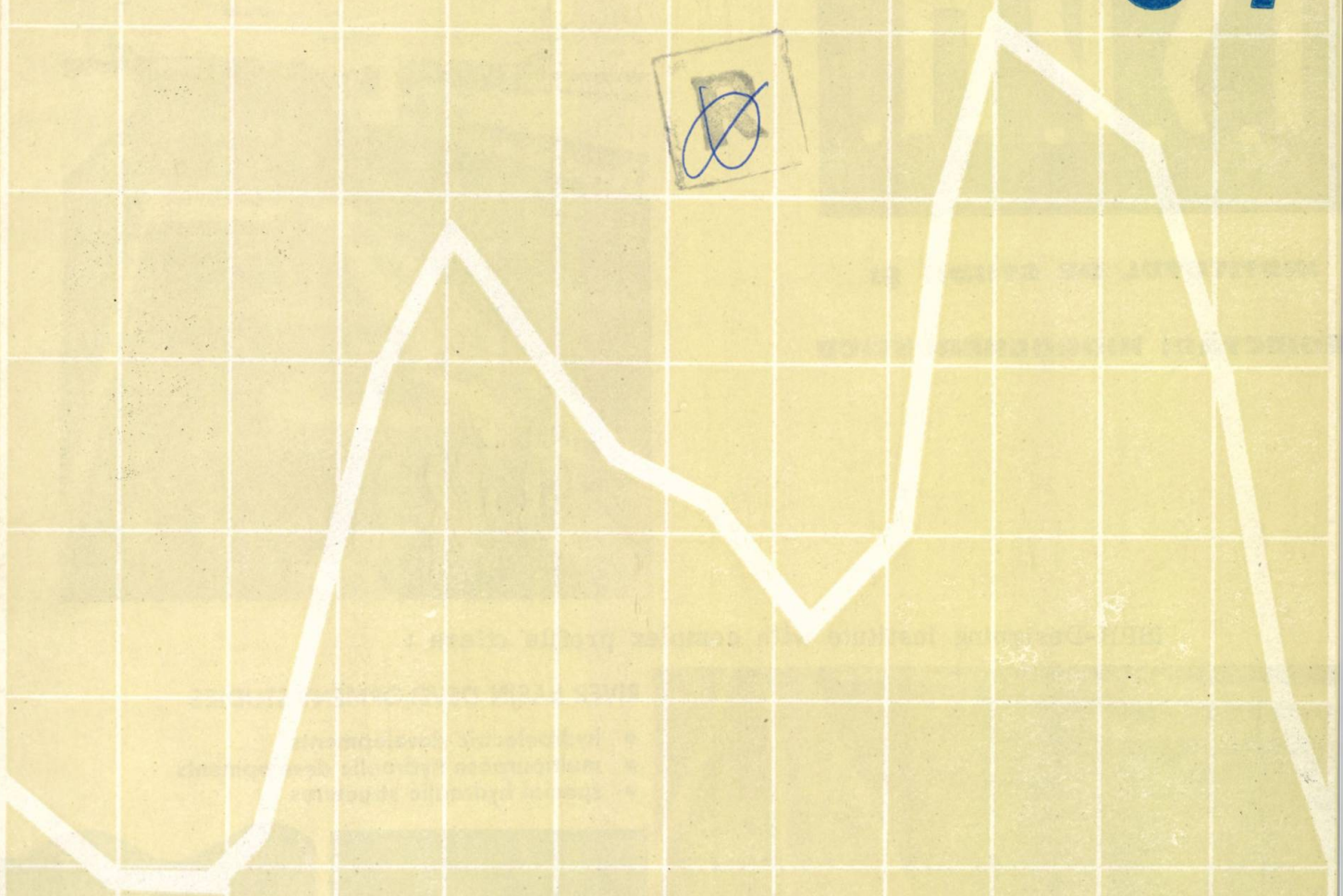
TRUSTUL ENERGOCONSTRUCTIA A REALIZAT IN SIRIA TURNURI DE RACIRE SI COSURI DE FUM LA RAFINARIA DIN BANYAS SI LA FABRICA DE CIMENT DIN ALEPPO

TRUSTUL ENERGOCONSTRUCIA
Calea Dorobanţilor nr. 103-105
Sector 1 Bucureşti
Telefon 79. 60. 20 - telex 10179

E 2039

MW

6-7



VOLUMUL XXIX
BUCUREŞTI
IUNIE – IULIE 1981

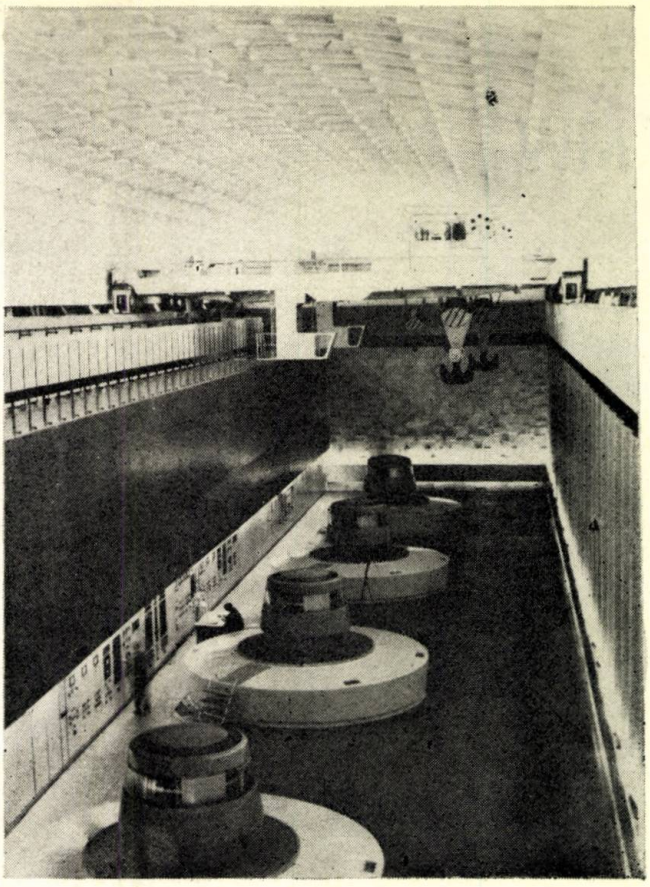
energetica

0 6 12 18 24

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI

ROIECTĂRI HIDROENERGETICE



ISPH-Designing Institute with complex profile offers :

RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

SPECIAL ACTIVITIES

- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 29 Nr. 6 — 7 iunie — iulie

Cuprinsul

		Pag.
C. Mofoiu, M.G.M. Pop, Fl. Alexe, D. Manea şi V. Teodoroiu	**Posibilităţi şi perspective de utilizare a căldurii evacuate din condensatoarele turbinelor din centralele termoelectrice din R.S.R.**	257—263
H. Bednar, Alex. Forje, I. Inţa, V. Stratulat, Victoria Bednar, I. Bogdan şi B. Bednar	**Aspecte privind arderea explozivă în amestecuri combustibile gazoase**	264—272
Fl. Ardeleanu şi Al. Măruţă	**Reducerea consumului de combustibil prin optimizarea circuitelor de răcire din centralele termoelectrice**	272—274
I. Prelipcean şi R. Sfichi	**Influenţa electromagnetică a LEA 110 kV asupra liniilor de telecomunicaţii prin luarea în considerare a conductorului de pământ**	275—279
L. Mihăescu şi T. Mihăescu	**Un model matematic pentru estimarea procesului de eroziune a rotoarelor morilor-ventilator**	280—285
N. Chirculescu, Gh. Ionaşcu ş. a.	**Tratarea automată a informaţiei referitoare la verificarea periodică a principalelor echipamente de înaltă şi medie tensiune din reţelele electrice**	286—290
Al. Blada, D. Săndulache şi Gh. Apetrei	**Model şi program pentru calculul regimului optim de funcţionare zilnică a centralelor hidroelectrice cu mari lacuri de acumulare**	291—298
C. Popescu, M.M. Dăncilă şi V. Vărzaru	**Aspecte tehnico-economice ale centralelor solaroelectrice cu ciclu termodinamic de înaltă temperatură**	298—303
Alex. Chisacof	**Sisteme de recuperare a căldurii din resursele energetice secundare de joasă temperatură cu pompe de căldură**	304—307
D. Fetcu, N. Antonescu şi Gh. Băcanu	**Grătare din bare cu tuburi termice, o nouă metodă de îmbunătăţire a randamentului de ardere în strat a combustibililor solizi inferiori**	308—312

RECENZII

COLEGIUL DE REDACŢIE

dr. ing. **Gh. Bălan** (redactor responsabil adjunct), ing. **P. Cartianu**, ing. **M. M. Dăneilă**, ing. **H. Furtunescu**, ing. **N. Georgian**, dr. ing. **Gh. Luca**, dr. ing. **Maria Maftei**, ing. **B. Marcu**, dr. ing. **A. Măeriş**, ing. **I. Măiereanu** (redactor responsabil adjunct), dr. ing. **C. Mihăileanu** (redactor responsabil), prof. dr. ing. **V. I. Nitu**, dr. ing. **E. Pavel**, dr. ing. **Th. Popa**, dr. ing. **C. I. Staicu** (secretar de redacţie).

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.311 : 621.165 : 66.012.004.1

К. Моцоиу, М. Г. М. Поп, Фл. Алексе, Д. Манеа и *В. Тоедоройу:* **Возможности и перспективы использования тепла, удаляемого из конденсаторов турбин на электростанциях СРР**

Статья анализирует возможности освоения тепла, удаляемого из охладительных систем электростанций, при климатических и рабочих условиях нашей страны особо отмечая внутреннюю рекуперацию для подогревания присадочной воды до подстанций химической обработки и внешней рекуперации в сельскохозяйственной зоне в частных условиях удаления тепла в окружающую среду, используя системы, основанные на охлаждении водой.

Energetica 29 (1981) N° 6—7, стр. 257—263

ДК 662.62 : 662.61

Х. Беднар,, Алекс. Форже, И. Инца, В. Стпатулат, В. Беднар И. Богдан и Б. Беднар: **Аспекты касающиеся взрывообразного горения в газообразных топливных смесях**

В статье рассматриваются условия и факторы, благоприятствующие реакции сжигания и взрыва в газообразной фазе в различной среде. Авторы обращают внимание на тот факт, что в так называемой температуре вспышки, которая долгое время считалась физической характеристикой топлива (газообразного) — представляет фактически погрешную концепцию в виду того, что критическое явление самозажигания не связано с определенными свойствами топливной смеси и зависит от природы процесса термического равновесия между системой реакции и окружающей средой; в этом случае самое большее можно сказать об определенной критической темнературе ниже которой явление зажигания не сможет больше произойти. Одновременно рассматривается явление холодного пламени как исходная степень зажигания.

Energetica 29 (1981), N° 6—7, стр. 264—272

ДК 621.311.22/23.62.3.017.72

Фл. Арделяну и *Ал. Мэруцэ:* **Снижение потребления терла пурем оптимизации контуров охлаждения на теплоэлектростанциях**

Energetica 29 (1981), N° 6—7, стр. 272—274

ДК 621.316.99 : 621.315.1 : 621.392.2

И. Прелипчеан и *Р. Сфики:* **Электромагнитное влияние ЛЭП 110 кв на линии электросвязи путем учета заземляющего провода**

Анализируется влияние ЛЭП 110 кв на линии электросвязи в условиях использования заземляющего провода. Демонстрируется, что в присутствии этого провода явление учитываемого снижения, которое появляется в значении напряжения, расчета индуктированного напряжения, уменьшается на 35—60%.

Energetica 29 (1981). N° 6—7, стр. 275—279

ДК 621.3.002.5 : 621.548 : 621.9.008.3

Л. Михэеску и *Т. Михэеску:* **Математическая модель для оценки процесса эррозии роторов вентиляторных мельниц**

Представлется аналитический расчет длительности использования мелющих органов на мельницах, работающих на угольной пыли.

Предложенная модель представляет собой новый путь разработки этой проблемы, который может быть использован в исследованиях в области износа на энергетических установках.

Energetica 29 (1981), N° 6—7, стр. 280—285

ДК 621.311.1.005 : 621.3.027.3/7 + 621.3.027.2

Н. Киркулеску, С. Мате и др.: **Автоматическая обработка информации касающейся периодической проверки главного оборудования высокого и среднего напряжений на электрических сетях**

Работа представляет информационное применение позволяющее проведение анализа большого объема информаций относительно результатов испытаний-измерений, полученных на протяжении эксплуатации оборудования, сравниваемые с результатами испытаний других оборудований такого рода позволяя принятие некоторых решений в целях обеспечения постоянной работы установок.

Energetica 29 (1981), N° 6—7, стр. 286—290

ДК 621.311.21 :627—8

Ал. Блада, Д. Сэндулаке и *Г. Апетрей:* **Модель и программа по расчету оптимального режима ежедневной работы гидростанций с крупными водохранилищами**

Energetica 29 (1981), N° 6—7, p. 291—298

ДК 621.311.25 : 621.47

К. Попеску, М. М. Дэнчилэ и *В. Вэргару:* **Технико-экономические аспекты солнечных электростанций с термо-динамическим циклом бысокой температуры**

После представления концепции солнечных электростанций с термодинамическим циклом высокой температуры, представленной в журнале «Энергетика» за № 4/1981 г., в настоящей работе представляются технико-экономические аспекты, связанные с этим типом станций для их учета при принятии решений в виду реализации такого типа станций.

Energetica 29 (1981), N° 6—7, стр. 298—303

ДК 621.181.63 : 66.012.004.1

А. Кисакоф: **Системы рекуперации тепла из вторичных энегетических ресурсов низкой температуры тепловыми насосами**

Energetica 29 (1981), N° 6—7, стр. 304—307

ДК 662.64/66 : 662.61

Д. Фетку, Н. Антонеску и *Г. Бэкану:* **Колосниковые решетки с тепловыми трубками — новый метод улучшения коэффициента полезного действия сгорания в слое низкокачественных твердых топлив**

Energetica 29 (1981), N° 6—7, стр. 308—312

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.3.11 : 621.165 : 66.012.004.1.

C. Moţoiu, M. G. M. Pop, Fl. Alexe, D. Manea und *V. Teodoroiu*: **Anwendungsmöglichkeiten und -aussichten der von den Kondensatoren der elektrischen Kraftwerke aus Rumänien erhaltenen Abwärme**

Der Bericht enthält eine Analyse der Verwertungsmöglichkeiten der aus den Kühlsystemen der elektrischen Kraftwerke ausgeschiedenen Abwärme unter den Klimabedingungen unseres Landes mit Bezug auf die Rückgewinnung im Inneren des Kraftwerks, u.zw. zur Vorerwärmung des Zusatzwassers vor der chemischen Aufbereitungsstation und ausserhalb des Kraftwerks, in der Landwirtschaft z.B., unter den aussergewöhnlichen, durch die Abgabe in der Umwelt, entstandenen Umständen, bei mit Wasser gekühlten Systemen.

Energetica 29 (1981), H. 6—7, S. 257—263

DK 662.62 : 662.61

H. Bednar, Alex. Forje, I. Inţa, V. Stratulat, V. Bednar, I. Bogdan, und *B. Bednar*: **Aspekte der Explosionsverbrennung in gasförmigen brennbaren Mischungen**

Es werden die Umstände und Faktoren, die die Verbrennungs-und Explosionsreaktionen in der Gasphase in verschiedenen Mittel fördern beschrieben. Die Verfasser wollen die Tatsache hervorheben, dass die sogennannte Entzündungstemperatur — welche lange Zeit als eine physikalische Charakteristik eines Brennstoffes (gasförmigen) betrachtet wurde — eigentlich eine fehlerhafte Auffassung darstellen, da das kritische Selbstzündungsphänomen nicht von einer bestimmten Eigenschaft des brennbaren Gemisches abhängt, sondern von der Natur des Wärmegleichgewichtvorgangs, so dass höchstens über einem bestimmten kritischen Temperaturwert die Rede sein kann, dessen Unterschreitung zur Verhinderung des Entzündungsvorgangs führt. Zugleich

wird das Phänomen der kalten Flamme, als Anfangsstadium der Entzüdnung, besprochen.

Energetica 29 (1981), H. 6—7, S. 264—272

DK 621.311.22/23 :62.3.017.72

Fl. Ardeleanu und *Al. Măruță:* **Die Herabsetzung des Braunstoffverbrauches durch die Optimierung des Kühlkreislaufs der Wärmekraftwerke**

Energetica 29 (1981), H. 6—7, p. 272—274

DK 621.316.99 : 621 315.1 : 621.392.2.

I. Prelipcean und *R. Sfichi*: **Die Ausswirkung des Elektromagnetismusses der 110 kV Freileitungen auf die Fernmeldeleitungen im Falle der Anwendung einer Erdungsleitung**

Es wird die Auswirkung der 110 kV Freileitungen auf die Fernmeldeleitungen im Falle der Anwendung einer Erdungsleitung gezeigt. Es wird demonstriert, dass der Betrachtete Reduktionsfaktor, der in dem induzierten berechneten Spannungswert vorkommt, mit 35—60% verkleinert wird.

Energetica 29 (1981), H. 6—7, S. 275—279

DK 621.3.002.5 : 621.548 : 621.9.018.3

L. Mihăescu und *T. Mihăescu*: **Mathematisches Modell für die Schätzung des Erosionsvorgangs bei den Laufrädern der Ventilatormühlen**

Es wird die analytische Berechnungsweise der Anwendungsdauer der Zerkleinerungsbestandteile der Kohlenstaubmühlen gezeigt. Das vorgeschlagene Modell stellt eine neue Art dar, an die Frage heranzugehen und es kann in den Forderungen über den Verschleiss der Energieeinrichtungen miteinbezogen werden.

Energetica 29 (1981), H. 6—7, S. 280—285

DK 621.311.1.005 : 621.3.027.3/7 + 621.3.027.2

N. Chirculescu, S. Mathe, u.a.: **Die automatische Informationsverarbeitung in Verbindung zur periodischen Überprüfung der wichtigsten Hoch- und Mittelspannungsausrüstungen der Elektroenergieleitungen**

Es wird die praktische Anwendung der Datenverarbeitung, das Programm PROFILAX vorgestellt. Dieses erlaubt einerseits die Durchführung der Analyse eines umfangreichen Informationsvolumens welches während der Lebensdauer einer Einrichtung erhaltenen Ergebnisse der Versuche-Messungen sind, und der Vergleich dieser mit den Versuchen auf anderen Einrichtungen dieser Type und andererseits das Treffen von Entscheidungen für ihren kontinuierlichen Betrieb.

Energetica 29 (1981), H. 6—7, S. 286—290

DK 621.311.21 :627—8

Al Blada, D. Săndulache und *Gh. Apetrei:* **Modell und Programm für die Berechnung des optimalen täglichen Betriebsregimes der Wasserkraftwerke mit grossen Speicherseen**

Energetica 29 (1981), H. 6—7, S. 291—298

DK 621.311.25 : 621.47

C. Popescu, M. M. Dăncilă und *V. Vărzaru*: **Technische und wirtschaftliche Aspekte der solarelektrischen Krafwerke mit hochtemperatur-thermodynamischen Zyklus**

Nachdem in Nr. 4/1981 der Zeitschrift „Energetica" das Bauprinzip der solarelektrischen Kraftwerke mit hochtemperatur-thermodynamischen Zyklus vorgestellt wurde, enthält dieser Artikel einige auf die Entscheidung zu ihrem Bau sich auswirkenden technischen und wirtschaftlichen Aspekte.

Energetica 29 (1981), H. 6—7, S. 298—303

DK 621.181.63 : 66.012.004.1

Al. Chisacof: **Wärmerückgewinnungssysteme aus Sekundärenergiequellen niederer Temperatur mit Wärmepumpen**

Energetica 29 (1981), H. 6—7, S. 304—307

DK 662.64/66 : 662.61

D. Fetcu, N. Antonescu und *Gh. Băcanu*: **Leisternroste aus Wärmerohren — eine neue Verbesserungsmethode der Schichtverbrennungsleistung von minderwertigen festen Brennstoffen**

Energetica 29 (1981), H. 6—7, S. 308—312

SOMMAIRE

CD 621.311 : 621.165 : 66.012.004.1

C. Moțoiu, M. G. M. Pop, Fl. Alexe, D. Manea et *V. Teodoroiu*: **Possibilités et perspectives d'utilisation de la chaleur évacuée par les condenseurs des turbines des centrales électriques de Roumanie**

L'article analyse les possibilités de mise en valeur de la chaleur évacuée par les systèmes de refroidissement des centrales électriques, dans les conditions climatiques et de fonctionnement de notre pays, visant en principal à la récupération interne nécessaire pour le préchauffage de l'eau d'appoint avant de la station de traitement chimique et de récupération externe dans le domaine agricole, dans les conditions spécifiques de l'évacuation de la chaleur au milieu environnant, en utilisant des systèmes basés sur le refroidissement par la circulation de l'eau.

Energetica 29 (1981), no. 6—7, p. 257—263

CD 662.62 : 662.61

H. Bednar, Alex. Forje, I. Ința, V. Stratulat, V. Bednar, I. Bogdan et *B. Bednar*: **Aspects cocernant la combustion explosive qui se produit dans les mélanges combustibles gazeux**

On discute les conditions et les facteurs qui favorisent les réactions de combustion et d'explosion de la phase gazeuse, dans de différents milieux. Les auteurs tirent l'atention sur le fait que la température d'inflammation — qui longtemps a été considérée une caractéristique physique d'un combustible gazeux — représente une conception erronée, car le phénomène critique de combustion spontanée n'est pas lié à une certaine propriété du mélange combustible, mais, au contraire, il dépend de la nature du processus de l'équilibre thermique entre le système de réaction et le milieu environnant ; ainsi, il s'agit, au plus, d'une certaine température critique sous laquelle le phénomène de combustion ne peut plus se produire.

Energetica 29 (1981), no. 6—7, p. 264—272

CD 621.322.22/23 :62.2.017.72

Fl. Ardeleanu et *Al. Măruță:* **La diminution de la consommation du combustible par l'optimisation des circuits de refroidissement dans les centrales thermo-électriques**

Energetica 29 (1981), no. 6—7, p. 272—274

CD 621.316.99 : 621.315.1 : 621.392.2

I. Prelipcean et *R. Sfichi*: **L'influence électromagnétique des LEA 110 kV sur les lignes de télécommunications, compte-tenu du conducteur de terre**

Les auteurs analysent l'influence des LEA 110 kV sur les lignes de télécommunications dans les conditions de l'utilisation du conducteur de terre. Ils démontrent qu'en présence de ce conducteur le facteur de réduction qui intervient dans la valeur de la tension induite de calcul diminue de 35—60%.

Energetica 29 (1981), no. 6—7, p. 275—279

CD 621.3.002.5 : 621.548 : 621.9.018.3

L. Mihăescu et *T. Mihăescu*: **Un modèle mathématique pour l'estimation du processus d'érosion des rotors des moulins à ventilateur**

On expose le calcul analytique de la durée utile des organes d'écrasage des moulins à charbon poudre. Le modèle proposé représente une nouvelle voie pour l'étude de ce problème, pouvant être utilisé dans les recherches sur l'usure des installations énergétiques.

Energetica 29 (1981), no. 6—7, p. 280—285

CD 621.311.005 : 621.3.027.3/7 + 621.3.027.2

N. Chirculescu, S. Mathe et a.: **Traitement automatique de l'information relative à la vérification périodique des équipements de haute et moyenne tension des réseaux électriques**

L'étude présente l'application informatique PROFILAX, qui permet l'analyse d'un grand volume d'informations relatives aux résultats des essais-mesurages obtenus pendant l'exploitation d'un équipement, en comparaison avec les résultats des essais sur d'autres équipements du même type, en menant aux décisions en vue d'assurer le fonctionnement continu des installations

Energetica 29 (1981), no. 6—7, p. 286—290

CD 621.311.21:627—8

Al. Blada, D. Săndulache et *Gh. Apetrei:* **Modèle et programme pour le calcul du régime optimal de fonctionnement journalier des centrales hidroélectriques à grands lacs d'accumulation**

Energetica 29 (1981), no. 6—7, p. 291—298

CD 621.311.25 : 621.47

C. Popescu, M. M. Dăncilă et *V. Vărzaru* : **Aspects techniques-économiques des centrales solaires-électriques à cycle thermodynamique de haute température**

Après la présentation de la conception des centrales solaires-électriques à cycle thermodynamique de haute température, publiée dans le numéro 4/1981 de notre revue, cet article montre les aspects techniques-économiques relatifs à ce type de centrales, pour qu'ils soient pris en considération à leur réalisation.

Energetica 29 (1981), no. 6—7, p. 298—303

CD 621.181.63 : 66.012.004.1

Al. Chisacof: **Systèmes de récupération de la chaleur qui se dégage des ressources secondaires énergétiques à basse température, à l'aide des pompes à chaleur**

Energetica 29 (1981), no. 6—7, p. 304—307

CD 662.64/66 : 662.61

D. Fetcu, N. Antonescu et *Gh. Băcanu* : **Grilles en barres à tubes thermiques — une nouvelle méthode d'amélioration du rendement de la combustion en couche des combustibles solides inférieurs**

Energetica 29 (1981), no. 6—7, p. 308—312

CONTENTS

DC 621.311 : 621.165 : 66.012.004.1

C. Moţoiu, M. G. M. Pop, Fl. Alexe, D. Manea and *V. Teodoroiu* : **Possibilities and Prospects of Turbines Condensers Discharged Heat Use in the Electric Power Stations of Romania**

The paper analyses the reevaluation possibilities of the heat discharged from the cooling system of electric power plants under the climatic conditions of Romania, with a special reference to internal recovery for supply water preheating before the chemical treatment plant and to external recovery, its impact upon agriculture due to heat discharge in the environment, by using water cooled systems.

Energetica 29 (1981), nr. 6—7, p. 257—263

DC 662.62 : 662.61

H. Bednar, Alex. Forje, I. Inţa, V. Stratulat, V. Bednar, I. Bogdan and B. Bednar : **Aspects of Explosive Burning in Gaseous Combustible Mixtures**

The paper presents the circumstances and factors which favour burning and explosion reactions in the gaseous phase indifferent media. The authors pinpoint the fact that the so-called inflammation temperature — which has been considered for a long time a physical characteristic of a fuel (gaseous) — represents in fact a false conception, since the critical self-ignition phenomenon does not depend on certain property of the combustible mixture but on the nature of the thermal equilibrium process between the reaction system and the environment, so that one can speak of a certain critical temperature maybe, beneath which the self-ignition can not occur any longer. At the same time the cold flames phenomenon as a critical ignition stage is discussed.

Energetica 29 (1981), nr. 6—7, p. 264—272

DC 621.311.22/23 :62.3.017.72

Fl. Ardeleanu and *Al. Măruţă:* **Reduction of fuel consumption by thermal power plants cooling circuits optimization**

Energetica 29 (1981), nr. 6—7, p. 272—274

DC 621.316.99 : 621.315 : 621.392.2

I. Prelipcean and *R. Sfichi*: **The 110 kV OHEL Electromagnetic Influence on Telecommunication Lines Considering the Earthing Conductor**

The influence of the 110 kV OHEL upon telecommunication lines formed by an earthing conductor is analysed. It is demonstrated that in the pressence of this conductor the considered reduction factor of the induced calculation voltage value is diminished by 35—60%.

Energetica 29 (1981), nr. 6—7, p. 275—279

DC 621.3.002.5 : 621.548 : 621 018. 3

L. Mihăescu and *T. Mihăescu* : **Mathematical Model for the Estimation of Fan Mills Rotors Erosion**

The analytical life calculation of the grinding elements coal dust mills is presented. The proposed model constitutes a new approach of the subject and it can be applied to the wear studies of power equipment as well.

Energetica 29 (1981), nr. 6—7, p. 280—285

DC 621.311.1.005 : 621.3.027.3/7 + 621.3.027.2

N. Chirculescu, S. Mathe, et. al. : **Automatic Processing of Information Referring to the periodical Checking of Main High and Medium Voltage Electric Lines Equipment**

The paper presents the data processing PROFILAX, a comprehensive analysis method of information about testing-measurement results obtained during an equipment operation time compared to the result of testing other similar equipment, providing decision making for a continuous operation of installations.

Energetica 29 (1981), nr. 6—7, p. 286—290

DC 621.311.21 :627—8

Al. Blada, D. Săndulache and *Gh. Apetrei:* **Optimal daily operation regime calculation model and program of hydropower plants with large storage lakes**

Energetica 29 (1981), nr. 6—7, p. 291—298

DC 621.311.25 : 621.47

C. Popescu, M. M. Dăncilă and *V. Vărzaru* : **Technical and Economic Aspects of High Temperature Thermal Dynamic Cycle Solar Electric Plants**

After introducing in No. 4/1981 of the review „Energetica" the conception of high temperature thermal dynamic cycle solar electric plants, the present paper describes economical and technic aspects connected to the operation of such plants which should contribute to decision making for their erection.

Energetica 29 (1981), nr. 6—7, p. 298—303

DC 621.181.63 : 66.012.004.1

Al. Chisacof: **Heat Recovery Systems from Secondary Low Temperature Energy Resources by Heat Pumps**

Energetica 29 (1981), nr. 6—7, p. 304—307

DC 662.64/66 :662.61

D. Fetcu, N. Antonescu and *Gh. Băcanu* : **Thermal Tubes Bar Grates — A New Method to Improve the Burning Efficiency of Low Grade Solid Fuel Beds**

Energetica 29 (1981), nr. 6—7. p. 308—312

Posibilități și perspective de utilizare a căldurii evacuate din condensatoarele turbinelor din centralele electrice din R. S. R.

Conf. dr. ing. C. Moțoiu
dr. ing. M.G.M. Pop
șef. lucr. dr. ing. F. Alexe
ing. D. Manea
ing. V. Teodoroiu *)

1. Cadrul de abordare a problemei

Balanța energetică națională a României este în prezent deficitară, închizîndu-se prin import de combustibil lichid (petrol) și solid (cărbune cocsificabil și cocs) [1]. Exporturile de energie, explicabile într-o anumită măsură prin unele livrări de gaze naturale și în principal prin faptul că o parte din produsele rezultate în urma rafinării rămîn disponibile pentru export, sînt mai mici decît importul net, deficitul anual al balanței de energie fiind în perioada 1971—1978 în continuă creștere [2].

Comandamentul major al realizării independenței energetice a țării noastre impune un complex de măsuri în sfera producerii, transportului, distribuției și utilizării energiei sub toate formele, incluzînd folosirea unor resurse termoenergetice secundare, cu nivel termic coborît, considerate pînă în prezent inutilizabile.

Astăzi circa 22% din totalul energiei primare comerciale din R.S.R. (cota este în continuă creștere) revine producției de energie electrică și producției combinate de energie electrică și căldură prin termoficare, circa 85% din producția de energie electrică realizîndu-se în CTE și CET [2]. Din energia primară introdusă în CTE, CET și CNE se evacuează în mediul ambiant, cu apa de răcire de la condensatoare și alte răciri de joasă temperatură, între 10—15% la CET industriale, 25—30% la CET urbane, 50—55% la CTE și 65—70% la CNE [3].

Găsirea unor modalități de utilizare eficientă a căldurii evacuate de la condensator ar permite și valorificarea unor resurse energetice secundare de joasă temperatură din industrie, care în ansamblu reprezintă debite termice comparabile cu cele de la răcirea CTE, CET și CNE.

*) Conf. dr. ing. Costin Moțoiu, șef lucrări dr. ing. Florin Alexe și ing. Victor Teodoroiu lucrează la Institutul politehnic București, Catedra de centrale electrice; dr. ing. Mihai G. M. Pop lucrează la Comitetul Municipal București, iar ing. Dumitru Manea este cercetător științific la ICEMENERG.

Lucrarea de față analizează posibilitățile de recuperare a căldurii apei de răcire de la condensatoarele turbinelor energetice cu abur din CTE și CNE, aplicabile în condensator și în circuitul de răcire în aval de acestea, fără a afecta nivelul temperaturii de condensare.

Din cauza nivelului termic scăzut și ecartului limitat de temperatură, se elimină posibilitatea utilizării unui agent termic intermediar. Debitul important de apă de răcire a condensatoarelor (110—125 $m^3/MW \cdot h$) face ineficient economic și energetic transportul apei de răcire la distanțe mari față de centrală, impunînd găsirea unor consumatori în centrală sau în imediata vecinătate a acesteia.

Utilizarea resurselor energetice secundare se poate face în trei direcții: recuperări tehnologice cu reducerea consumului de energie în proces, recuperarea energetică, cu reducerea consumului la sursele parțial substituite și folosirea la noi consumatori de tip special pentru a crește producția finită fără consum suplimentar de energie. Datorită caracterului special al resursei analizate se vor putea aplica numai prima și cea de-a treia soluție.

Conform [4], principalele modalități cunoscute și aplicate de utilizare a căldurii cu potențial termic coborît sînt cele din tabelul 1. Dintre aceste posibilități se vor analiza în continuare, ca prezentînd deosebit interes pentru condițiile din R.S.R., preîncălzirea apei de adaos înainte de stația de tratare chimică și încălzirea solului în solarii.

2. Eficiența energetică și economică a preîncălzirii apei de adaos înainte de stația de tratare chimică într-un fascicol încorporat în condensatoarele turbinelor energetice cu abur din CTE cu răcire în circuit mixt și închis

Inventariind consumatorii de servicii proprii termici ai CTE și CET cu abur, se pune în evidență că unicul domeniu posibil de recuperare tehnologică a căldurii de potențial termic redus de la condensator în scopul reducerii consumului specific de combustibil la bornele centralei este preîncălzirea apei de adaos înainte de stația de tratare chimică, diminuînd consumul de abur la preîncălzitorul de apă brută.

La CTE răcite în circuit deschis, măsura se poate aplica prin preluarea apei destinate tratării chimice din bazinul de apă caldă. Date fiind cerințele de calitate ale acestei ape, în cazul CTE și CET răcite în circuit mixt sau închis, se impune ca încălzirea apei să se realizeze fără amestec cu apa de turn, necesitînd existența unei stații de pompare a apei reci

Tabelul 1

Principalele metode de utilizare a căldurii evacuate din condensatoarele turbinelor cu abur răcite cu apă

Nr. ctr.	Procedeul	Nivelul de temperatură min., °C max., °C	Restricții de temperatură	Ce rezultate pozitive se pot obține	Ce perioadă din an poate funcționa	Restricții posibile	Stadiul aplicării în lume și în țară
1	Încălzirea solului în solarii (țevi—PVC, la cca. 30 cm în sol)	20 ; 35	Maxim în sol 30°C	Prelungirea cu cca. 4 luni a duratei anuale a culturilor Accelerarea creșterii Dublarea producției anuale legumicole la ha	Oct.-nov. și martie-aprilie, funcționare în plin Cu reduceri în perioada de vară	Trebuie oprit vara cca. 3 luni Necesită mutarea periodică (la cca. 5 ani) datorită secătuirii solului Răcirea apei se face cu 3—5°C, necesită răcire suplimentară	1. În lume : experiențe în R.F.G., Franța 2. În țară : experiment INCERC ; în 1976 la București-Vest
2	Sursă auxiliară de încălzire în sere (încălzirea solului, țevi PVC la 30—35 cm, în sol)	25 ; 35	Maxim în sol 30°C	Creșterea producției legumicole anuale pînă la dublu Înlocuiește încălzirea cu masă organică	Toată perioada de funcționare a serelor	Vara necesită sursă suplimentară de răcire Răcirea apei se face cu 3—5°C	1. În lume : R.F.G. și S.U.A, stadiu semiindustrial ; 2. În țară : se intenționează încercări la INCERC
3	Sere de joasă temperatură cu plapumă din două folii de plastic, la nivelul solului, prin care circulă apa — găuri în plapumă prin care se face cultura solului	25 ; 35	Maxim în sol 30°C	Se încălzește și solul și aerul Se pot cultiva și plante mai puțin pretențioase Creșterea producției pe ha cultivat de 2—3 ori Nu ating productivitatea serelor cu aer încălzit	1 sept.—15 dec. și 15 febr.—15 iun. ; Funcționarea în plin Cu reduceri în perioada de vară	Vara necesită sursă auxiliară de răcire Tehnologie specială a lucrărilor agricole Necesită izolare termică sporită — sere cu geamuri duble	1. În lume : în Franța, stadiu semiindustrial ; 2. În țară : nu s-au făcut cercetări
4	Sere-solar cu geamuri duble printre care circulă apă caldă	25 ; 35		Prelungirea duratei anuale a culturilor Mărirea producției agricole Accelerarea topirii zăpezii căzute pe sere	Toată perioada de funcționare a serelor	Vara necesită sursă auxiliară de răcire Răcirea apei se poate face cu un ecart limitat	1. În lume : stadiu semiindustrial în U.R.S.S. 2. În țară : nu s-au făcut încercări
5	Deversarea apei calde în canale și pe cursuri navigabile pentru a preveni efectul înghețului	20 ; 35	Temp. maximă vara 30°C, pentru a evita poluarea termică a apei	Prelungirea cu 1—2 luni a duratei de navigație Evitarea înghețării prizei de apă rece	Tot anul, eventual necesitînd vara instalații de răcire a apei pt. a-i reduce temp. sub 30°C	Formarea ceții pe calea navigabilă	1. În lume : deja aplicată. 2. În țară : în curs de aplicare
6	Piscicultură în ape încălzite de la centrală	20 ; 35	Temperatură maximă vara 30°C la peștii subtropicali și 20—25 la păstrăvi autohtoni	Dublarea producției de pește la piscicultura în bazine artificiale încălzite tot timpul anului Creșterea producției în bazine naturale din aval de centrale	Se poate utiliza tot timpul anului cu unele restricții vara (necesită sursă auxiliară de răcire)	Încălzirea iarna poate conduce la efecte ecologice secundare insuficient studiate Răcirea apei se poate face pînă la 5—6°C	1. În lume : stadiu industrial în R.F.G., Franța 2. În țară : se face fără control în unele bazine piscicole din aval de centrale

7	Cultură controlată de alge cu rapiditate mare de creștere	20 ; 35	Temperatură maximă vara 35°C	Tot timpul anului	Limitarea temperaturii de încălzire legată de oxigenarea apei Investiții mari în bazinele de cultură a algelor	1. În lume : stadiu semiindustrial în Japonia, Franța, R.F.G., U.R.S.S. 2. În țară : s-au efectuat cercetări teoretice la ICEMENERG
8	Încălzirea apei de adaos pt. stația de tratare chimică, înainte de introducerea apei la stația de tratare, în centralele cu răcire în circuit închis sau mixt	20 ; 35	Nu este cazul	Tot timpul anului	La CET și CTE răcite în circuit mixt sau închis necesită fascicol înglobat în condensator La CTE cîștig mai mic datorită debitului mic de apă de adaos	1. În lume : utilizare curentă 2. În țară : la unele centrale, de ex. Govora și Galați
9	Pompe de căldură folosind apa de răcire ca sursă rece	20 ; 35	Nu apar restricții	Tot timpul anului	Investiții mari în pompa de căldură și efect energetic inferior celui obținut prin termoficare	1. În lume : există realizări în R.F.G., Elveția 2. În țară : există pompe de căldură, experiment în curs la ICEMENERG

de la rîu sau de la altă sursă de apă curată și a unui fascicol separat pe partea de apă, încorporat în condensator.

Debitul de apă de adaos fiind redus în comparație cu cel de apă de răcire, iar încălzirea apei de adaos făcîndu-se în mod uzual cu abur de priză (prin termoficare internă), economia de combustibil realizabilă în sistem este foarte redusă în comparație cu consumul global de combustibil al centralei.

La CTE de condensație pură cu un debit de adaos de 2 ... 3% din debitul de alimentare și un debit specific de abur viu de 3 ... 3,1 kg abur /kWh, aceasta poate reduce consumul de combustibil cu 0,001 pînă la 0,002 g c.c./kWh, respectiv cu circa 0,0026 pînă la 0,0054%.

La CET, la care debitul de adaos poate atinge (în cazul CET industriale) valori de ordinul 30 ... 50% din cel de alimentare, iar debitul specific de abur viu este de 4 ... ... 8 kg abur/kWh, reducerea consumului specific poate ajunge la 0,02 pînă la 0,09 g.c.c./kWh, respectiv la valori procentuale de ordinul 0,0125 pînă la 0,05%.

Deși, conform datelor de mai sus, măsura ar apărea mai eficientă în cazul CET, ea este cu mult inferioară celei de realizare a unui fascicol înglobat pentru preîncălzirea apei de termoficare urbană, astfel încît aceasta din urmă diminuează considerabil interesul pentru realizarea preîncălzirii apei de adaos.

Catedra de centrale electrice din Institutul politehnic București a elaborat o metodologie de predeterminare a puterii electrice nete suplimentare ce se poate obține la bornele generatoarelor blocurilor termoenergetice de mare putere, menținînd constant consumul de abur viu, ca urmare a aplicării acestei măsuri.

Organigrama programului de calcul este prezentată în figura 1. Rezultatele obținute sînt sintetizate în tabelul 2, iar pentru grupul F1C-330, sub formă grafică, în figura 2.

Din rezultatele obținute se observă următoarele :

— în cazul în care condițiile de răcire a grupului permit realizarea unei temperaturi finale a apei preîncălzite de peste 35°C, se poate considera drept cantitate de căldură recuperată în mod util numai cea necesară încălzirii apei pînă la 35°C (temperatura optimă pentru viteza reacțiilor chimice) ;

— sporurile de putere la bornele generatorului sînt mai mari în cazul unor circuite de răcire închise sau mixte, avînd o cotă de apă de rîu redusă ;

— sporul de putere electrică netă este mai mic în lunile de vară, deoarece în această perioadă temperatura apei de tratare preîncălzită este mai mare, iar destinderea aburului este mai mică ;

— dat fiind debitul redus de apă ce trebuie preîncălzită și separarea fascicolului încorporat, numărul de drumuri al acestuia, IZI, poate fi

Tabelul 2

Date referitoare la eficiența fascicolului încorporat

Nr. crt.	Denumirea grupului	Debit de apă de răcire (t/h)	Debit de apă preîncălzită (t/h)	Nr. de drumuri pt. fascicolul încorporat	Nr. de țevi pe un drum	Spor anual energetic (MWh/an)			Economie anuală de combustibil (t c.c./an)		
						$C = 0,2$	$C = 0,5$	$C = 0,8$	$C = 0,2$	$C = 0,5$	$C = 0,8$
1	ŠKODA—100	11 500	15	2	10	282	252	198	106	95	87
2	HTGZ—K—150—130	18 500	20	2	6	301	278	252	111	103	93
3	ŠKODA—200	23 500	25	2	8	337	301	262	125	111	96
4	LMZ—K—210—130	25 000	25	2	6	311	290	267	116	108	99
5	F1C—330	36 400	30	2	19	459	436	403	171	163	152

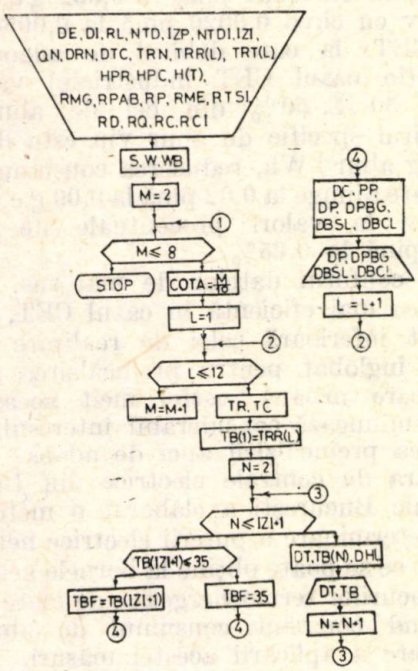


Fig. 1. Organigrama programului de calcul.

DE — diametrul exterior al țevilor din condensator; *DI* — diametrul interior al țevilor din condensator; *NTD* — numărul de țevi pe un drum al condensatorului; *NTDI* — numărul de țevi pe un drum al fascicolului încorporat; *QN* — puterea termică nominală evacuată la condensator; *DRN* — debit nominal de apă de răcire a condensatorului; *DTC* — debit de apă preîncălzită în vederea tratării chimice; *TRN* — temperatura nominală a apei de răcire; *TRR(L)* — temperatura medie lunară a apei de râu; *TRT(L)* — temperatura medie lunară a apei de turn; *HPR* — entalpia specifică reală a aburului de priză pentru preîncălzirea apei; *HPC* — entalpia specifică a condensatului rezultat în preîncălzitorul abur-apă; *H(T)* — entalpia specifică a aburului la evacuarea din turbină; *RMG* — randamentul mecanic și al generatorului; *RPAB* — randamentul preîncălzitorului abur-apă; *RME* — randamentul motorului de antrenare a pompei; *RISI* — randamentul transformatorului de servicii interne; *RD* — raport de debit; *RQ* — raport de încărcare a grupului; *RC* — raport de curățenie a condensatorului; *RCI* — raport de curățenie a fascicolului încorporat; *TB* — temperatura apei preîncălzite; *DT* — creșterea temperaturii apei preîncălzite pe un drum al fascicolului încorporat; *DHL* — pierderile de presiune liniare pe un drum al fascicolului încorporat; *DC* — pierderi de presiune în camerele de apă ale fascicolului încorporat; *PP* — puterea de pompare aferentă regimului de curgere în fascicolul încorporat; *DP* — economia de abur de priză; *DPBG* — sporul de putere la bornele generatorului; *DBSL* — economia de combustibil în sistem; *DBCL* — economia de combustibil la centrală.

mai mare decît numărul de drumuri al condensatorului, pentru a realiza un ecart de temperatură sporit față de cel al debitului principal de apă de răcire; deoarece un număr prea mare de drumuri ar conduce la o creștere excesivă a pierderii de presiune și a energiei de pompare, fără a aduce efecte pozitive importante, se limitează superior valoarea IZP = 2;

— sporul de putere electrică netă este cuprins între 0,16 și 0,278 % din puterea nominală a grupului, iar sporul de energie anuală reprezintă între 0,02 și 0,047 % din energia livrată de grup;

— economiile de combustibil realizate la nivelul sistemului energetic național au valori între 106 t c.c./an la un grup Skoda 100 MW și 171 t c.c./an la un grup F1C-330 MW.

În concluzie, măsura analizată este eficientă tehnic și economic, deoarece realizează economii de combustibil ce justifică investițiile necesare, totalul cumulat al acestor economii este însă foarte redus în raport cu consumul global al centralelor M.E.E. la care se poate aplica măsura.

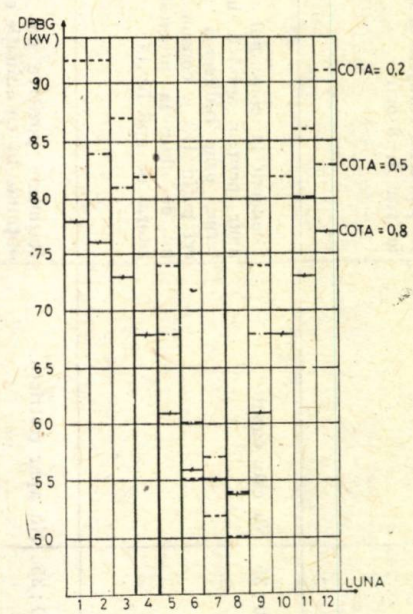


Fig. 2. Variația medie lunară a sporului de putere la bornele generatorului de la grupul F1C—330.

3. Analiza posibilităților și eficienței de utilizare a apei de răcire de la condensatoarele turbinelor energetice cu abur pentru încălzirea solului în solarii

Încălzirea solului pentru culturile agricole prin rețele de conducte pozate în sol prin care circulă apă de răcire nu realizează economii efective de combustibil, ci numai o sporire a

producției materiale, cu un consum suplimentar mai redus de combustibil. Datorită acestei particularități, eficiența economică a măsurii este condiționată de cultivarea unor plante mai valoroase.

Ținînd seama și de condițiile pedoclimatice din R.S.R., rezultă interesul de a folosi căldura reziduală pentru solarii legumicole.

Primele cercetări românești în acest domeniu au fost efectuate în colaborare de Institutul de cercetări în construcții și economia construcțiilor (INCERC) și Institutul de cercetări legumicole și floricole — ICLF-Vidra, punînd accentul pe probleme agrotehnice și pe cele de realizare și exploatare a rețelei de încălzire pozate în sol [5].

Experimentul realizat, prin construcția unui solar de dimensiuni reduse la CET București — Vest, a permis unele estimări privitoare la creșterea producției agricole, fiind totuși neconcludent din punct de vedere al scării utilizate și al legăturii cu centrala. În [4], analizînd posibilitățile de implementare a măsurii în centrală și caracteristicile consumatorului, se recomandă aplicarea măsurii la CTE de condensație pură, deoarece la CET din R.S.R. cantitatea de căldură evacuată din condensator în perioada de toamnă tîrzie și primăvară timpurie este redusă și poate fi folosită mai eficient prin realizarea de fascicole înglobate.

În cadrul Catedrei de centrale electrice din IPB s-au analizat condițiile de transfer global de căldură de la apa caldă din rețelele de conducte la atmosferă, folosind în acest scop metoda imaginii [6].

S-a propus un solar de construcție tipizată cu deschiderea de 5,4 m și conducte din polietilenă pozate în sol la adîncimea de 40 cm, modificînd numărul de conducte și diametrul acestora.

Coeficientul global de transfer de căldură calculat are valori coborîte datorită în principal rezistențelor termice mari în sol și la transferul convectiv sol-aer. În figura 3 se prezintă modul de variație a coeficientului de transfer de căldură pe unitatea de lungime de conductă, k_e, și pe unitatea de lungime de solar tipizat, nk_e. Se observă că deși k_e crește la mărirea pasului rețelei, în domeniul de diametre uzuale produsul $n \cdot k_e$ are un maxim pentru $n = 16$ conducte, această soluție rezultînd ca optimă din punct de vedere al încălzirii.

Pentru estimarea ecartului de temperatură între intrarea și ieșirea apei din solar la rețeaua cu transfer optim de căldură, s-au efectuat calcule pentru diametre interioare între 15 și 40 mm și lungimi echivalente de transfer de căldură de 100 și 200 m, ale căror rezultate sînt transpuse grafic în figura 4.

Se pune în evidență că în domeniul diametrelor și lungimilor uzuale răcirea realizată este cu mult inferioară încălzirii de la condensator. Dacă se ține seama și de faptul că trebuie evitat efectul de „capăt rece" al solarului, se limitează răcirea apei în solar la 4°C și lungimea echivalentă de transfer de căldură la 200 m.

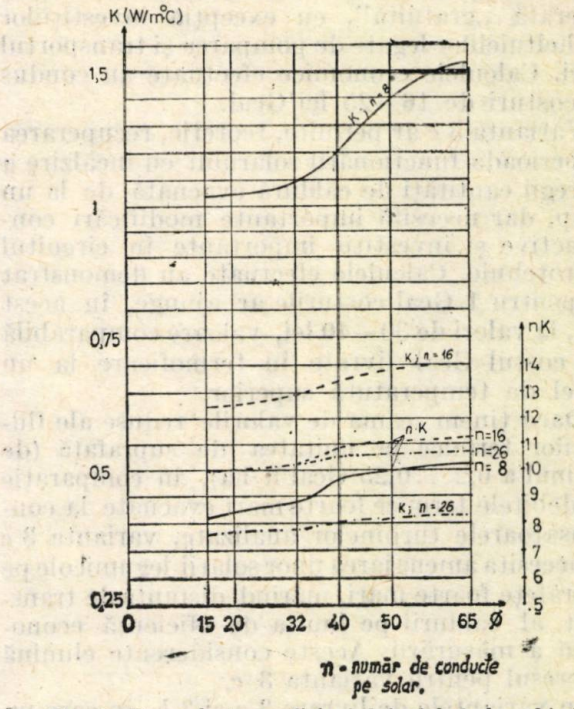


Fig. 3. Dependența coeficientului global de schimb de căldură de diametrul țevilor.

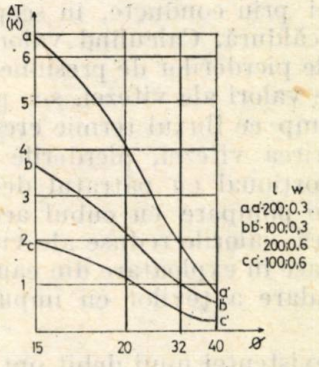


Fig. 4. Răcirea apei în rețeaua solarului.

Ținînd seama de acest ecart limitat, se prefigurează următoarele variante de „livrare" a apei calde la consumatorul agricol:

3. a) — cota de apă caldă livrată consumatorului agricol este inferioară celei preluate din rîu; după răcirea în țevile din sol apa se returnează la rîu;

3. b) — cota de apă de răcire trimisă consumatorului agricol este superioară celei preluate din rîu; după utilizare apa se returnează la centrală în bazinul de aspirație a pompelor de turn;

3.c) — se livrează consumatorului agricol un debit de apă comparabil cu cel de răcire al unui grup din centrală; după răcire apa se reintroduce în condensator, necesitînd circuit hidrotehnic de secțiune majorată, pompe cu

debite şi înălţimi de pompare sporite şi condensator complet modificat.

În variantele 3 *a* şi 3 *b* se utilizează o parte redusă din căldura evacuată, avantajul constînd în faptul că această căldură poate fi considerată „gratuită", cu excepţia investiţiilor şi cheltuielilor legate de pomparea şi transportul apei. Calculele economice efectuate au condus la costuri de 16—25 lei/Gcal.

Varianta 3 *c* ar permite, teoretic, recuperarea în perioada funcţionării solarului cu încălzire a întregii cantităţi de căldură evacuată de la un grup, dar necesită importante modificări constructive şi investiţii importante în circuitul hidrotehnic. Calculele efectuate au demonstrat că pentru 1 Gcal costurile ar ajunge, în acest caz, la valori de 30—40 lei, valoare comparabilă cu costul Gcal livrate în termoficare la un nivel de temperatură superior.

Dacă ţinem seama de valorile reduse ale fluxurilor termice pe unitatea de suprafaţă (de ordinul a 0,2...0,25 Gcal/h·ha), în comparaţie cu debitele termice foarte mari evacuate la condensatoarele turbinelor analizate, varianta 3 *c* ar necesita amenajarea unor solarii legumicole pe suprafeţe foarte mari, mărind distanţa de transport al căldurii pe limita de eficienţă economică a măsurării. Aceste considerente elimină interesul pentru varianta 3 *c*.

În variantele de livrare 3 *a* şi 3 *b*, în care nu se limitează ecartul de răcire a apei, considerentele termotehnice ar pleda pentru creşterea debitului şi a vitezei prin conducte, în scopul măririi fluxului de căldură. Calculînd valorile fluxului termic şi ale pierderilor de presiune în reţea pentru diferite valori ale vitezei, s-a pus în evidenţă că, în timp ce fluxul termic creşte foarte încet la mărirea vitezei, pierderile de presiune cresc proporţional cu pătratul debitului, iar energia de pompare cu cubul acestuia. De menţionat că valorile reduse ale vitezei sînt dezavantajoase în exploatare din cauza pericolului de înfundare a ţevilor cu impurităţile din apă.

A rezultat ideea existenţei unui debit optim tranzitat pe o conductă, pentru care „conţinutul cumulat de energie pe an şi ha — B" să fie minim. La calculul lui B s-a ţinut seama de energia înglobată în materialul plastic din care este alcătuită reţeaua de conducte şi de energia de pompare prin reţeaua din sol, neglijînd ceilalţi factori ce ar interveni cu o cantitate constantă şi nu ar deplasa optimul. Am considerat reţeaua cu numărul optim de conducte pe lăţimea de solar, determinat mai sus, modificînd viteza de curgere a apei şi diametrul conductelor.

Rezultatele obţinute sînt transpuse grafic în figura 5, în care se pun în evidenţă următoarele fenomene :

— valorile fluxului termic obţinut pentru o diferenţă maximă de temperatură între apă şi aer de 15°C nu depăşesc 0,25 Gcal/h·ha ;

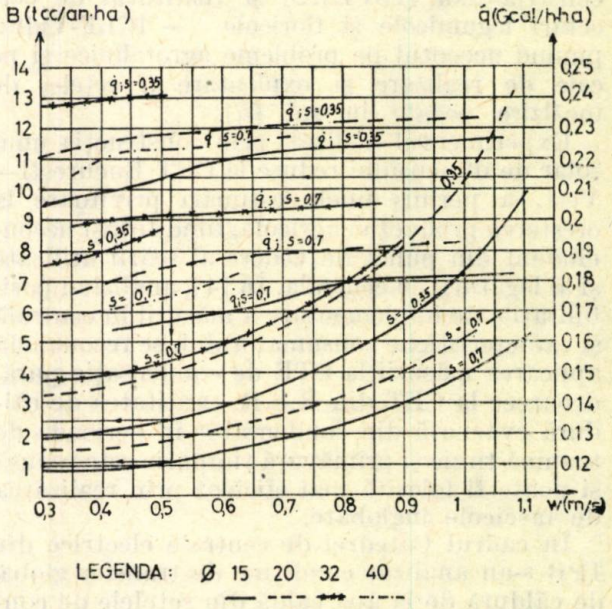


Fig. 5. Densitatea fluxului termic realizat şi consumul cumulat de energie al reţelei de încălzire.

— consumul de energie cumulat, în t c.c/an. ha, este inferior celui încorporat în producţia legumicolă ce s-ar obţine suplimentar prin metode clasice ; astfel, valorile lui B de 14 t c.c./an. ha corespund unui spor de producţie agricolă de 10—15 t legume pe an, pentru care s-ar consuma în metodele clasice 25—50 t c.c ;

— cu ajutorul figurii 5 se poate determina diametrul conductei şi viteza apei în reţea, pornind de la fluxul termic impus şi putîndu-se alege consumul cumulat de energie corespunzător.

La valoarea impusă pentru consumul de energie înglobat în materialul plastic din reţea, se poate determina, folosind în acest scop şi datele din tabelul 3, viteza optimă pentru care consumul cumulat total este minim.

Tabelul 3

Corelaţia optimă diametru — debit

Mărimea	U.M.	Valori								
G	kg/s	0,05	0,1	0,15	0,2	0,5	1	1,5	2	3
d	mm	12	16	19	22	322	43	50	56	67
w	m/s	0,399	0,453	0,489	0,515	0,611	0,694	0,749	0,79	0,851

Pentru a determina comportarea sistemului în cazul unei întreruperi accidentale a alimentării cu apă, s-au efectuat calcule referitoare la inerția termică și acumularea de căldură în solarul încălzit. A rezultat că și pentru cele mai favorabile soluții de rețea și condiții de acumulare inerția termică a sistemului este practic neglijabilă, iar viteza de scădere a temperaturii în solar este rapidă. Aceasta cere o siguranță deosebită în alimentarea cu apă caldă a solariilor în perioada de toamnă tîrzie și primăvară timpurie, pentru a nu periclita recolta.

Concluzii

Analizînd posibilitățile de valorificare a căldurii evacuate de sistemele de răcire cu apă a condensatoarelor turbinelor energetice cu abur, s-au desprins următoarele concluzii mai importante :

— preîncălzirea apei de adaos, înainte de stația de tratare chimică, într-un fascicol încorporat în condensator (metoda 8 din tabelul 1) este singura măsură capabilă să reducă consumul specific de combustibil în centralele M.E.E. ; investițiile necesare pentru aplicarea acestei măsuri sînt minime și se recuperează într-un termen scurt, dar economiile de combustibil realizate sînt reduse ;

— metodele 1—7, din tabelul 1, nu realizează economii efective de combustibil, ci numai creșteri ale producției valorice pe baza unei creșteri mai lente a cosumului de energie ; dintre aceste metode, cea mai interesantă, în condițiile din R.S.R. este cea de la punctul 1 ;

— deoarece fiecare din metode poate folosi o cotă relativ redusă din căldura evacuată, acestea se pot utiliza combinat, ținînd seama de posibilitățile concrete de implementare la fiecare centrală în parte ;

— toți consumatorii de căldură reziduală de joasă temperatură inventariați prezintă variații mari ale necesarului și fac imposibilă utilizarea întregii cantități de căldură evacuată ;

— eficiența economică a metodelor 1—7 depinde în mod fundamental de producția valorică suplimentară realizată ;

— folosirea căldurii reziduale la utilizatori de tipul celor inventariați nu permite renunțarea la instalațiile de răcire cu turnuri ;

— toate soluțiile ce se referă la noi tipuri de consumatori (1—7) necesită cercetări experimentale interdisciplinare multianuale, cu participarea utilizatorului căldurii-deșeu pentru centrală ;

— stadiul incipent al cercetărilor efectuate în țara noastră pentru soluțiile 2—7 nu permite estimări cantitative ale efectelor pozitive ale acestor măsuri și ale costurilor necesare.

Găsirea modalităților optime de utilizare a căldurii reziduale de joasă temperatură de la condensatoarele turbinelor energetice cu abur necesită un amplu program experimental, de cercetare științifică interdisciplinară, cu instalații experimentale la o scară semnificativă, precum și analize de caz asupra fiecărei centrale la care se intenționează aplicarea măsurilor.

Bibliografie

[1] * * * *Programul directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981—1990 și orientările principale pînă în anul 2000.* Editura politică, București, 1979.

[2] * * * *Anuarul statistic al R.S.R. — 1978 ; 1979.* Editura Academiei R.S.R., București, 1979, 1980.

[3] Moțoiu, C. ș.a. *Posibilități de economisire a combustibililor și căldurii în centralele termice industriale și termoelectrice.* Editura tehnică, București, 1976.

[4] * * * *Studiu privind posibilitățile și eficiența tehnico-economică a recuperării căldurii din apa de răcire de la condensatoarele turbinelor energetice cu abur și din gazele de ardere ale cazanelor din termocentralele M.E.E.* Studiu ICEMENERG—IPB—ISPE, București, 1979.

[5] * * * *Studiu privind încălzirea solului în solarii și cmp deschis.* INCERC, București, 1978.

[6] Leonăchescu, N *Termotehnica.* Editura didactică și pedagogică, București, 1974.

(Articol intrat în redacție la 20 martie 1981)

Aspecte privind arderea explozivă în amestecuri combustibile gazoase

Partea I — **Conceptul teoretic**

Prof. dr. **H. Bednar**, ing. **Alex. Forje**, conf. dr. **I. Inţa**, fiz. **V. Stratulat**, prof. dr. **Victoria Bednar**, ing. **I. Bogdan** şi chim. **B. Bednar** *)

Consideraţii generale

Arderea este o reacţie chimică de oxidare, care se desfăşoară cu viteze mari de reacţie şi cu degajare de căldură şi lumină. Arderea se produce de regulă în oxigen (fiind deci o reacţie puternic exotermică de oxidare), dar există şi „arderi" fără oxigen. Multe metale, de exemplu, „ard" în clor, oxidul de natriu şi oxidul de bariu „ard" în oxid de carbon etc., aşa încît numai în sens restrîns arderea trebuie privită ca un proces ce se desfăşoară în prezenţa oxigenului gazos.

Cu toate că arderea a fost cunoscută din timpuri străvechi, ea a început să fie studiată intens numai după ce şi-a cîştigat o importanţă enormă pentru o serie de procese tehnologice din metalurgie, industria chimică, industria constructoare de maşini etc.

Domeniul vast al proceselor de ardere se grupează, din punct de vedere al studiului lor fizico-chimic, în următoarele trei clase :

1. Arderea în substanţe combustibile gazoase omogene, numită ardere omogenă.
2. Arderea în amestecuri de medii combustibile gazoase, lichide şi solide, numită ardere eterogenă.
3. Arderea substanţelor explozibile.

Este de remarcat faptul că în cadrul fiecăruia dintre aceste tipuri de arderi se pot distinge : *un proces chimic*, determinat de tipul de reacţie chimică ce are loc în cadrul arderii, de mecanismul şi viteza de desfăşurare a reacţiei, precum şi de partenerii (elementele chimice sau substanţele) care participă la reacţia respectivă etc., şi *un proces fizic*, care cuprinde toate fenomenele conexe arderii, cum sînt difuzia produselor de ardere, propagarea arderii, undele luminoase şi undele elastice (perturbaţiile elastice) care însoţesc arderea, schimbul de căldură cu restul mediului etc. Se poate spune deci că arderea este un proces complex cu două laturi distincte : una chimică — reacţia generatoare de energie (căldură) — şi alta fizică, în care sînt cuprinse toate fenomenele ce însoţesc arderea şi de regulă succed reacţiei chimice de ardere.

În lucrarea de faţă se fac cîteva consideraţii asupra mecanismelor posibile de declanşare şi producere a arderilor şi exploziilor în amestecuri combustibile gazoase omogene.

*) Prof. dr. Horst Bednar, conf. dr. Ioan Inţa, prof. dr. Victoria Bednar sînt cadre didactice la Universitatea din Braşov ; ing. Alexandru Forje, fiz. Vasile Stratulat şi ing. Ioan Bogdan sînt cercetători ştiinţifici la ICEMENERG ; chim. Brunno Bednar lucrează la CNOP Bucureşti.

Procese chimice în arderea şi explozia combustibililor gazoşi

Se ştie că în toate procesele de ardere, indiferent de mecanismul lor chimic intern, rolul preponderent îl deţin fenomenele critice şi cele de propagare a zonei de reacţie, fenomene extrem de sensibile la cele mai mici modificări produse atît în sistem cît şi în mediul înconjurător.

Procesele de ardere se desfăşoară, în general, sub forma unor reacţii în lanţ ramificat, cînd datorită creşterii numărului centrilor activi (atomi liberi, radicali etc.) pot apărea fenomene limită specifice (arderi, explozii, detonaţii etc.). Pentru reacţiile în faza gazoasă, limitele de ardere sau explozie sînt bine definite, astfel încît se pot trasa diagramele de ardere, respectiv de explozie, în funcţie de compoziţia amestecului, de presiunea globală şi de temperatura de reacţie.

Studiile efectuate asupra proceselor de ardere şi de explozie au arătat că diagramele obţinute sînt specifice naturii reacţiilor respective. Astfel, în cazul arderii compuşilor anorganici (SiH_4, PH_3, P_4, CS_2, H_2S etc.) au fost observate două limite de explozie, una inferioară şi una superioară (fig. 1), hidrogenul prezintă trei limite de explozie (fig. 2), iar compuşii organici prezintă o diagramă de ardere şi explozie mult mai complexă (fig. 3), observîndu-se pe lîngă flăcările normale şi flăcări reci, flăcări normale la presiuni ridicate, flăcări albastre şi flăcări lungi (în domeniile cu coeficient de temperatură negativ).

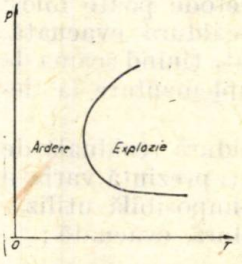


Fig. 1

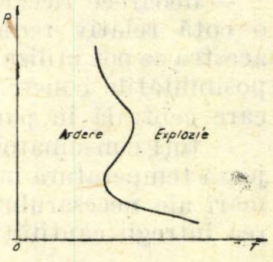


Fig. 2

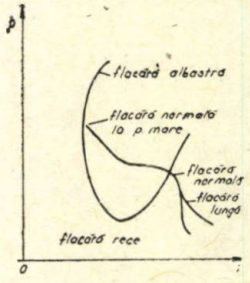
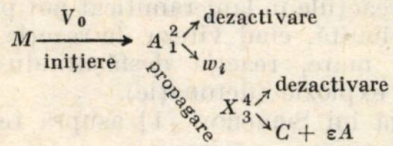


Fig. 3

Teoria generală a arderilor şi exploziilor bazată pe ipoteza reacţiilor în lanţ a fost creată de Semenov [1], contribuţii însemnate aducînd apoi Hishelwood [2], Kondratiev [3], Norrish şi Porter [4] şi alţii [5].

Această teorie conține, de fapt, un calcul al probabilităților de producere și ramificare a reacțiilor în lanț care intervin în procesele de ardere și explozie.

Conform formulării date de Kondratiev, o reacție în lanț se poate prezenta sub forma:



(1)

în care:

M reprezintă o moleculă stabilă;

A — o particulă activă (atom sau moleculă)

X — un produs intermediar;

C — produsul final;

V_0 — viteza procesului de inițiere a reacției în lanț;

w_i — probabilitățile proceselor ce urmează după inițiere.

Particula activă A se regenerează într-un astfel de proces, devenind posibilă reluarea ciclului.

Pentru viteza de reacție, exprimată prin viteza de formare a produsului final, se obține expresia:

$$V_r = \frac{d[c]}{dt} = v_0 w_1 w_0 + \varepsilon V w_1 w_3 = \frac{V_0 w_1 w_3}{1 - \varepsilon w_1 w_3} \tag{2}$$

în care $w_1 w_3$ reprezintă probabilitățile proceselor 1 și 3, iar ε — gradul de multiplicare al particulei active A.

În practică se întîlnesc următoarele trei cazuri:

1. $\varepsilon = 0$, cînd de fapt particula A nu se regenerează și intervine deci o reacție simplă,

2. $\varepsilon = 1$, cînd reacția se desfășoară în lanț drept, adică la fiecare etapă se regenerează purtătorul de lanț,

3. $\varepsilon > 1$, cînd reacția se desfășoară în lanț ramificat, adică se regenerează mai mulți purtători de lanț decît cîți se consumă.

De notat că în cazul al doilea ($\varepsilon = 1$), lungimea lanțului este determinată de raportul probabilităților de propagare ($w_1 w_3$) și a celor de întrerupere ($w_2 w_4 = 1 - w_1 w_3$). Această lungime va fi finită, întrucît pentru un lanț simplu $w_1 w_3 < w_2 w_4$. Un exemplu de acest tip de reacție îl constituie descompunerea termică a aldehidei acetice

$$CH_3CHO \rightarrow CH_4 + CO$$

Aici, etapa de start sau de inițiere este reprezentată de disociația aldehidei în radicali

$$1.\ CH_3CHO \rightarrow CH_3' + CHO'$$

Radicalul CHO' se descompune în CO și H_2 fără a influența mersul în continuare al reacției, activ fiind doar radicalul CH_3', procesul desfășurîndu-se conform schemei:

$$\left.\begin{array}{l} 2.\ CH_3' + CH_3CHO \rightarrow CH_4 + CH_3CO' \\ 3.\ CH_3CO' \rightarrow CO + CH_3' \end{array}\right\} \text{reacții de propagare}$$

$$4.\ CH_3' + CH_3' \rightarrow C_2H_6 \qquad \text{— reacție de oprire}$$

Deoarece radicalii liberi sînt foarte activi, aplicînd metoda stării staționare (respectiv presupunînd concentrația radicalilor liberi practic staționară), se poate scrie pentru viteza de formare a radicalului CH_3' expresia:

$$\frac{d[CH_3']}{dt} = K_1[CH_3CHO] + K_3[CH_3CO'] - K_2[CH_3'] - K_4[CH_3']^2 = 0 \tag{3}$$

Întrucît etapele 2 și 3 lasă nemodificată concentrația radicalilor $[CH_3']$, se pot omite din bilanț termenii corespunzători ($K_1[CH_3CHO] = K_4[CH_3']^2$), obținîndu-se:

$$[CH_3'] = \sqrt{\frac{K_1}{K_4}[CH_3CHO]} = K'[CH_3CHO]^{1/2} \tag{4}$$

Dacă se introduce această valoare în expresia vitezei de formare a produsului final, pentru CH_4 de exemplu, rezultă:

$$\frac{d[CH_4]}{dt} = K_2[CH_3'][CH_3CHO] = K_2\left(\frac{K_1}{K_4}\right)^{1/2}[CH_3CHO]^{3/2} = K'[CH_3COH]^{3/2} \tag{5}$$

La începutul unei reacții în lanț numărul de atomi sau de radicali liberi este foarte mic, și de aceea probabilitatea ca aceștia să se ciocnească între ei va fi practic nulă. În schimb, este foarte mare probabilitatea ca radicalii liberi să ciocnească molecule neutre. După un număr mare de etape (de ordinul miilor) concentrația moleculelor va scădea mult și vor deveni posibile și reacțiile de întrerupere. De altfel, aceste reacții de întrerupere se pot produce atît prin dezactivări cauzate de ciocniri cu pereții vasului, cît și prin ciocniri cu alți radicali liberi, în prezența unui al treilea partener, care să preia căldura de reacție (așa-numita întrerupere pătratică în volum).

Atomi liberi obținuți prin descompunerea termică a moleculelor de H_2

La trecerea unui curent de hidrogen gazos printr-un arc electric, realizat între electrozi de wolfram, se obțin atomi de hidrogen, ceea ce înseamnă că o parte din moleculele de H_2 se disociază în atomi. Atomii liberi de H˙ se recombină apoi, formînd din nou molecule de H_2, dar această recombinare nu se produce imediat, la fiecare ciocnire elementară. De aceea viața atomilor este lungă în comparație cu intervalul care separă două ciocniri succesive (există, în general, aproximativ 10^{31} ciocniri bimoleculare pe secundă). În descărcări electrice în gaze rarefiate au fost puși în evidență timpi de înjumătățire pentru acest proces de recombinare de pînă la 0,5 s, ceea ce dovedește că atomii liberi de H˙ pot suferi multe milioane de ciocniri bimoleculare fără a se recombina. Explicația acestui fenomen ar fi următoarea : cei doi atomi de H˙ au împreună o energie egală cu energia necesară pentru a disocia o moleculă de H_2 în atomi de H˙, dar aceștia nu se pot recombina cu formare de H_2 decît în ciocniri trimoleculare, la care mai participă și o moleculă inertă, care preia o parte din energia ce se eliberează la formarea celor doi atomi de H. Deci, schematic avem :

$$H^{\cdot} + H^{\cdot} + M \rightarrow H_2 + M^*$$

Rolul moleculei inerte M^* îl poate juca într-un astfel de proces și un corp solid, cum este peretele metalic al incintei în care se desfășoară procesul. De aceea, dacă un curent de atomi de hidrogen este proiectat pe suprafața unui corp metalic, se vor obține pe acesta temperaturi ridicate, de pînă la 4000°C (recombinarea a doi atomi-gram de H degajînd 104,2 kcal) putîndu-se astfel topi metale cu puncte ridicate de topire.

Moleculele poliatomice suferă descompuneri termice similare. Dacă una dintre legăturile din moleculă este mai slabă decît celelalte, atunci acestea se rup ca în exemplul :

$$CH_3 - \ddot{N} = \ddot{N} - CH_3 \rightarrow CH_3^{\cdot} + :N =$$

$$= N : + CH_3^{\cdot}$$

Energia eliberată la formarea moleculei de N_2 (225 − 100 = 125 kcal/mol) este în acest caz forța motoare a reacției, servind la ruperea celor două legături C—N.

În cazul reacțiilor în lanț ramificat ($\varepsilon > 1$), lungimea lanțului, ν_r, poate deveni infinită, atunci cînd este îndeplinită condiția :

$$1 - \varepsilon w_1 w_3 \simeq 0 \qquad (6)$$

pentru că :

$$\nu_r = \frac{w_1 w_3}{1 - \varepsilon w_1 w_3} \qquad (7)$$

Aceasta înseamnă că, în funcție de condițiile de lucru, reacțiile în lanț ramificat pot prezenta fenomene-limită, cînd viteza de reacție devine infinit de mare, reacția desfășurîndu-se sub formă de explozie (detonație).

În teoria lui Semenov [1] asupra reacțiilor în lanț ramificat, mărimea

$$\delta = \varepsilon - 1 \qquad (8)$$

definește probabilitatea de ramificare. Folosind notația $\alpha = w_1 w_2$, pentru lungimea unui lanț simplu, ν_s, respectiv ramificat, ν_r, se obțin expresiile :

$$\nu_s = \frac{\alpha}{1 - \alpha}; \quad \nu_r = \frac{\alpha}{1 - (\delta + 1)\alpha} =$$

$$= \frac{\alpha}{1 - \alpha - \delta\alpha} \qquad (9)$$

Se vede că se poate scrie :

$$\nu_r = \frac{\dfrac{\alpha}{1 - \alpha}}{\dfrac{1 - \alpha - \delta\alpha}{1 - \alpha}} = \frac{\nu_s}{1 - \delta\nu_s}, \qquad (10)$$

expresie care leagă lungimea lanțului ramificat de a celui simplu prin intermediul probabilității de ramificare δ.

Limitele de explozie pot fi caracterizate prin următoarele condiții echivalente :

$$\lim_{\varepsilon\alpha \to 1} \left| \nu_r = \frac{\alpha}{1 - \varepsilon\alpha} \right| \rightarrow \infty;$$

$$\lim_{\delta\nu_s \to 1} \left| \nu_r = \frac{\nu_s}{1 - \delta\nu_s} \right| \rightarrow \infty \qquad (11)$$

Dacă se ține seama că viteza de reacție este dată de expresia :

$$V = \frac{\alpha}{1 - \varepsilon\alpha} V_0 = \frac{\alpha}{1 - \alpha - \delta\alpha} V_0 \qquad (12)$$

și se introduce notația : $\beta = 1 - \alpha$, atunci pentru probabilitatea reacțiilor de întrerupere se obține

$$\nu_i = \frac{\alpha}{\beta - \alpha\delta} V_0 \qquad (13)$$

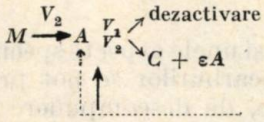
În practică pot apărea următoarele două cazuri :

1) $\delta\alpha < \beta$, respectiv probabilitatea reacţiilor de întrerupere este mai mare decît a celor de ramificare, fapt ce conduce în cele din urmă la realizarea unui regim staţionar;

2) $\delta\alpha > \beta$, cînd procesul declanşat se autoaccelerează, ducînd, în sisteme deschise, la aprindere, iar în cele închise la explozie.

Trecerea de la un regim staţionar la unul nestaţionar depinde de o serie de parametri, ca : temperatura, compoziţia amestecului, dimensiunile şi starea vasului de reacţie etc., putînd apărea la cele mai mici modificări ale acestora.

Cele de mai sus pot fi evaluate uşor pentru o schemă de reacţie în lanţ simplificată, de forma :



(14)

Viteza de formare a centrilor activi într-un astfel de proces poate fi exprimată prin relaţia :

$$\frac{dn}{dt} = V_0 + (V_1 + V_2)n + \varepsilon V_1 n = V_0 - (V_1 + V_2)(1 - \varepsilon\alpha)n, \quad (15)$$

α fiind dat de expresia :

$$\alpha = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \quad (16)$$

Se observă că există egalitatea :

$$(V_1 + V_2)(1 - \varepsilon\alpha) = V_2 - \delta V_1 \quad (17)$$

Dacă se introduce un factor de ramificare

$$\varphi = \delta V_1 - V_2 \quad (18)$$

atunci expresia (15) capătă forma :

$$\frac{dn}{dt} = V_0 + n(\delta V_1 - V_2) = V_0 + n\varphi, \quad (19)$$

ecuaţie a cărei soluţie este (pentru $t_0 = 0$, $n = 0$, iar pentru $t = t$, $n = n$) :

$$n = \frac{V_0}{\varphi}[e^{\varphi t} - 1] \quad (20)$$

Pentru viteza globală se obţine :

$$V = \frac{V_1}{\varphi} V_0 [e^{\varphi t} - 1] \quad (21)$$

În practică se pot distinge următoarele trei cazuri :

1) $\varphi < 0$, cînd se observă că pentru intervale de timp suficient de lungi viteza de reacţie devine staţionară :

$$V_{st} = \frac{V_1 V_0}{\varphi} \quad (22)$$

În acest caz, cantitatea de produse de reacţie creşte liniar cu timpul, fiind dată de :

$$[C]_{st} = \int_0^t V_{st}\, dt = \frac{V_1 V_0}{\varphi} t \quad (23)$$

2) $\varphi = 0$, condiţie ce caracterizează limita de explozie. În acest caz, viteza de formare a centrilor activi creşte liniar cu timpul :

$$\frac{dn}{dt} = V_0, \; n = V_0 t \quad (24)$$

Tot liniar va creşte cu timpul şi viteza globală :

$$V = V_1 V_0 t \quad (25)$$

3) $\varphi > 0$, caz în care predomină procesele de ramificare. Pentru numărul centrilor activi şi viteza globală se obţin relaţiile :

$$n = \frac{V_0}{\varphi} \cdot e^{\varphi t}; \; V = \frac{V_1 V_0}{\varphi} e^{\varphi t}, \quad (26)$$

care arată că se instalează un regim nestaţionar

În figura 4 este reprezentată grafic evoluţia în timp a vitezei de reacţie în lanţ ramificat.

Urmărind viteza de reacţie a unui amestec de reactanţi gazoşi de o anumită compoziţie, funcţie de presiunea acestuia, se constată că la presiuni mici reacţia este lentă. Mărind presiunea (la temperatura constantă), se atinge o

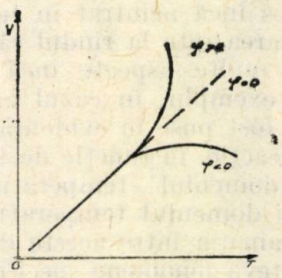


Fig. 4

valoare critică la care se declanşează explozia. La presiuni ce depăşesc această valoare critică se observă o scădere a vitezei de reacţie (limita superioară de explozie). În unele cazuri (cum este gazul tonant $H_2 + O_2$ sau amestecuri de oxigen şi hidrocarburi) se constată la presiuni foarte mari, o nouă creştere a caracterului exploziv al amestecului de reacţie, aşa cum se vede în figura 5 pentru amestecul tonant. Explicaţia unei astfel de comportări rezidă în următoarele: la presiuni joase, liberul parcurs mediu al atomilor liberi este foarte mare, astfel că majoritatea lor ajung la peretele vasului, fără să se ciocnească cu molecule neutre, unde

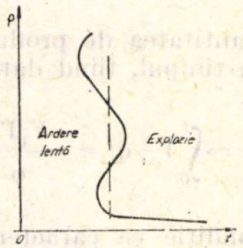


Fig. 5

se dezactivează. Odată cu creşterea presiunii, liberul parcurs mediu scade, dar creşte probabilitatea de ciocnire a radicalilor liberi cu moleculele, ciocniri care conduc la reacţii în lanţ ramificat. Limita superioară de explozie apare la presiuni mai mari cînd se produc reacţii de întrerupere a lanţului prin ciocniri trimoleculare, reacţia de explozie degenerînd din nou într-o reacţie lentă.

Aprinderea termică a unui amestec combustibil gazos (procesul de autoaprindere)

Se ştie că pentru a produce arderea într-un amestec combustibil gazos temperatura acestuia trebuie ridicată la o anumită valoare critică, numită şi temperatură de inflamare. Există două modalităţi pentru a atinge această stare, şi anume: aprinderea locală (prin scînteci sau aprindere la gura unui tub prin care este rulat gazul) şi autoaprinderea. Întreţinerea în continuare a procesului de ardere şi dezvoltarea lui în condiţii de staţionaritate sau de explozie vor fi condiţionate, pe de o parte, de reacţiile chimice generatoare de căldură, iar pe de altă parte de procesele fizice care însoţesc arderea: transferul de căldură şi de produse de ardere a mediului gazos încă neintrat în reacţie.

Autoinflamarea este la rîndul său un proces complex, cu multe aspecte încă neelucidate complet. De exemplu, în cazul arderii hidrocarburilor au fost puse în evidenţă două stadii distincte de reacţie, în funcţie de temperatură, şi anume: domeniul temperaturilor joase (20—500°C) şi domeniul temperaturilor înalte ($t > 500$°C), tranziţia între aceste domenii fiind însoţită de cîteva fenomene specifice, cum sînt flăcările reci, flăcările albastre, aprinderea în două stadii, coeficientul negativ de temperatură etc. În domeniul temperaturilor înalte (flăcări calde), arderea hidrocarburilor are loc după un mecanism de reacţie în lanţ ramificat direct, similar celui din cazul arderii amestecului de hidrogen şi oxigen, după cum se poate vedea dintr-o simplă comparare a etapelor elementare:

1) $H_2 + O_2 \rightarrow 2H'O$	$RH + O_2 \rightarrow R' + HO' + O:$ (iniţiere)
2) $O{\cdot}H + H_2 \rightarrow H_2O + H'$	$\dot{O}H + RH \rightarrow H_2O + R^{\cdot}$
$\dot{O} + H_2 \rightarrow \dot{H}O + H'$	$O: + RH \rightarrow \dot{O}H + R^{\cdot}$
$H' + O_2 \rightarrow H'O + \dot{O}$	$R^{\cdot} + O_2 \rightarrow R\dot{O} + O:$
$H' + O_2 \rightarrow H\dot{O}_2$	$R^{\cdot} + O_2 \rightarrow R\dot{O}_2$
$H\dot{O}_2 + H_2 \rightarrow H_2O_2 + H'$	$R\dot{O}_2 + RH \rightarrow ROOH + R^{\cdot}$

continuare

Există însă şi unele aspecte specifice, deoarece în cazul hidrocarburilor se pot produce reacţii de izomerizare, de descompunere termică etc., astfel că, pe lîngă produşii principali CO_2 şi H_2O, se pot forma şi aldehide, peroxizi, alcooli, acizi etc., în timp ce la arderea hidrogenului se formează doar apă, cel mult şi apă oxigenată.

La temperaturi mai joase, oxidarea hidrocarburilor reprezintă o reacţie mult mai complicată, care se desfăşoară prin ramificare indirectă. Reacţia directă de ramificare $R^{\cdot} + O_2 \rightarrow R\dot{O}^{\cdot} + O:$ necesită o energie de activare mare ($E = 30$ kcal/mol), în timp ce reacţia indirectă, de disproporţionare, cu formare de aldehidă $R^{\cdot} + O_2 \rightarrow R'CHO + OH'$ este exotermă ($\Delta H = -50$ kcal/mol).

Tot exotermă este şi reacţia de formare a radicalilor peroxidici:

$$R^{\cdot} + = O_2 \rightarrow \dot{R}O_2 \ (\Delta H = -29 \text{ kcal/mol})$$

După Fok şi Nalbandian [6], radicalul peroxidic conduce, la temperaturi joase (100—150°C), la formarea exclusivă a hidroperoxidului:

$$R^{\cdot}O_2 + RH \rightarrow ROOH + R^{\cdot}$$

În general, se admite că la temperaturi joase se formează cu preponderenţă hidroperoxizi (pînă la $t = 150-200$°C), iar la temperaturi mai înalte, aldehidele ($t = 200-500$°C). Aldehidele formate reprezintă şi ele intermediari activi, care pot provoca ramificări indirecte de forma:

$$RCHO + O_2 \rightarrow RO_2^{\cdot} + HCO^{\cdot} \ (\Delta H = -28 \text{ kcal/mol})$$

Fenomenele specifice care însoţesc aceste reacţii de oxidare a hidrocarburilor la temperaturi joase sînt aşa-numitele flăcări reci şi

aprinderea în două stadii. Fenomenul de flăcări reci constă în aceea că reacţia de oxidare lentă a hidrocarburilor este însoţită, în anumite condiţii, de apariţia unei flăcări de culoare slab-albăstruie, care se produce concomitent cu o creştere a temperaturii şi a presiunii amestecului. În sistem static flacăra rece are un caracter pulsatoriu, cu aprinderi şi stingeri repetate. Temperatura flăcării reci nu depăşeşte 200—230°C. Creşterea pronunţată a presiunii observată în cazul flăcărilor reci se explică prin creşterea temperaturii determinată de reacţiile puternic exoterme de ramificare indirectă.

Degajarea puternică de căldură în timpul flăcărilor reci poate determina apariţia flăcărilor calde, cînd presiunea şi temperatura amestecului combustibil ating valori caracteristice pentru autoaprindere. Dacă nu sînt atinse aceste valori, flacăra rece se stinge pentru a reapărea din nou după un anumit timp.

Ipoteza cea mai plauzibilă pentru a explica periodicitatea flăcărilor reci a fost emisă de către Pease [7], care presupune că la temperaturi şi presiuni joase se produce o ramificare indirectă prin intermediul radicalului peroxidic $R\dot{O}O$, care trece în radical hidroperoxidic:

$$R\dot{O}O + RH \rightarrow R\dot{O}OH + .R$$

La rîndul său, radicalul hidroperoxidic se descompune cu formarea de aldehide:

$$R\dot{O}OH \rightarrow R'CH_2O + \dot{O}H,$$

radicalul $\dot{O}H$ fiind principalul purtător al lanţului.

Odată cu creşterea temperaturii se modifică şi mecanismul de reacţie, producîndu-se o o substracţie de hidrogen cu formare de olefine:

$$\dot{R} + O_2 \rightarrow R'CH = CH_2 + H\dot{O}_2$$

Propagarea lanţului în acest caz se face prin intermediul radicalului $H\dot{O}_2$, mult mai stabil, cu formarea de apă oxigenată.

$$\dot{R} + H\dot{O}_2 \rightarrow R'CH = CH_2 + H_2O_2$$

(proces endoterm)

În aceste condiţii scade viteza de reacţie şi temperatura, aşa încît la un moment dat vor exista din nou condiţii propice pentru formarea flăcării reci, respectiv pentru formarea radicalului $R\dot{O}_2$.

Prin urmare, caracterul pulsatoriu al flăcării reci poate fi pus pe seama celor două procese: adiţia oxigenului la radicalul organic (proces exoterm) şi abstracţia hidrogenului de la radicalul organic cu formare de olefine (proces endoterm). Deseori apariţia flăcărilor reci este însoţită şi de zgomote slabe caracteristice.

Trecerea de la regimul flăcărilor reci la cel al flăcărilor calde depinde foarte mult de raportul dintre căldura degajată în reacţie şi căldura transferată mediului exterior [8], [10]. Astfel, dacă se notează cu ΔH efectul termic al reacţiei în faza gazoasă şi cu V viteza de reacţie, atunci fluxul de căldură degajată de reacţie este dat de expresia:

$$\Phi_d = \Delta H \cdot V = \Delta H \cdot A\, e^{-\frac{E}{RT}} p^n \qquad (27)$$

Fluxul de căldură transferată spre mediul exterior vasului de reacţie, de volum v şi suprafaţă S, este:

$$\Phi_e = \alpha_0 \frac{S}{v} (T - T_0) \qquad (28)$$

α_0 fiind un coeficient de transfer, T şi T_0 temperaturile în vas, respectiv în exteriorul său. În figura 6 sînt reprezentate grafic dependenţele de temperatură ale celor două mărimi Φ_d (curbele punctate) şi Φ_e (dreapta continuă). Funcţie de presiune, se disting următoarele cazuri posibile:

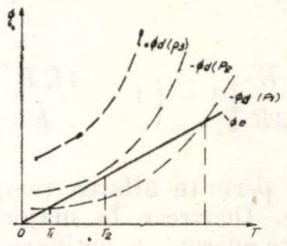


Fig. 6

a) la presiuni mici (p_1), $\Phi_d < \Phi_e$ şi se instalează un regim staţionar, caracterizat de temperatura T_1 pentru care $\Phi_d = \Phi_e$. Aprinderea amestecului se va produce la temperatura T_1;

b) la presiuni mijlocii (p_2), $\Phi_d > \Phi_e$, dar pentru o temperatură T_2 se realizează condiţia $\Phi_d = \Phi_e$, ea fiind în acelaşi timp şi temperatura de autoaprindere a amestecului, respectiv p_2 reprezintă presiunea minimă de explozie;

c) la presiuni mai mari (p_3), pentru orice temperatură T, $\Phi_d \gg \Phi_e$ şi autoaprinderea se produce instantaneu.

Dacă se scriu, pentru $T = T_2$, egalităţile dintre cele două fluxuri şi dintre derivatele lor în raport cu temperatura, adică:

$$\Phi_{d(T_2)} = \Phi_{e(T)_2}; \quad \left(\frac{d\Phi_d}{dT}\right)_{T_2} = \left(\frac{d\Phi_e}{dT}\right)_{T_2}, \qquad (29)$$

se obţin expresiile :

$$\Delta H \cdot V_{(T_2)} = \alpha \frac{S}{V} (T_2 - T_0)$$

$$\Delta H \left(\frac{dV}{dT} \right)_{(T_2)} = \frac{\alpha S}{v}, \quad (30)$$

respectiv :

$$V_{(T_2)} = T_2 - T_0) \left(\frac{dV}{dT} \right)_{T_2} \quad (31)$$

Înlocuind aici pe v şi $\frac{dV}{dT}$ cu expresiile date de (27), obţinem :

$$T_2^2 - \frac{E}{R} T_2 + \frac{E}{R} T_0 = 0 \quad (32)$$

Această ecuaţie de gradul doi are ca soluţie inferioară :

$$T_2 = \frac{E}{2R} \left[1 - \left(1 - \frac{4RT_0}{E} \right)^{1/2} \right], \quad (33)$$

expresie care permite aflarea temperaturii de autoaprindere. Deoarece la majoritatea reacţiilor de ardere energia de activare $E \geqslant 20$ kcal/mol, iar $T \ll 10^3$ K, se poate scrie aproximativ, prin dezvoltare în serie :

$$T_2 = T_0 + \frac{RT_0^2}{E} \quad (34)$$

Domeniul $\Delta T = T_2 - T_0 = \frac{RT_0^2}{E}$ caracterizează domeniul de preîncălzire (al flăcărilor reci) pînă la autoaprinderea amestecului şi are în general valori sub 10^3K.

Presiunea minimă de aprindere p_2 poate fi evaluată din egalitatea :

$$V_{T_2} = \frac{\alpha S}{\Delta H v} (T_2 - T_0) = \frac{\alpha S}{\Delta H v} \cdot \frac{RT_0^2}{E} =$$

$$= A \cdot e^{-\frac{E}{RT_0}} p_2^n \quad (35)$$

Deci :

$$\frac{p_2^n}{T_0^2} = \frac{\alpha SR}{\Delta H_v E} \cdot \frac{1}{A} \cdot e^{\frac{E}{RT_0}}, \quad (36)$$

respectiv

$$\ln \frac{p_2^n}{T_0^2} = \frac{B}{T_0} + C,$$

în care $B = E/R$ şi $C = \ln \frac{\alpha SR}{A \Delta H v R}$ (37)

Relaţia (37) arată că presiunea minimă de autoaprindere, p_2, creşte cu energia de activare E şi scade cu exotermicitatea reacţiei.

Explozii produse prin unde de şoc şi unde de detonaţie

Experienţa arată că un proces de ardere în medii combustibile se face de regulă lent pînă la viteze de propagare a arderii de ordinul a 1000—3500 m/s, limită peste care apare detonaţia. S-a constatat, de asemenea, că apariţia detonaţiei (exploziei) în multe cazuri depinde în mică măsură de parametrii de stare ai gazului. De exemplu, dacă explozia se declanşează în tuburi cilindrice, diametrul ei nu depinde de diametrul tubului, la tuburi de lungimi mari viteza de propagare a detonaţiei nu depinde esenţial de faptul dacă tubul este închis sau deschis la capete, de forma tubului, iar dependenţa de presiune şi chiar de temperatura gazului este foarte slabă.

Tot experimental s-a constatat că viteza de propagare a unei detonaţii într-un mediu combustibil gazos este apropiată ca valoare de viteza de mişcare termică a moleculelor. Toate aceste fapte au condus la elaborarea unei teorii fluidodinamice a detonaţiei (teorie creată de V. Mikhelson, B. Zeldonici, L. Landau şi alţii [10]).

Se pleacă de la faptul că pentru a apărea o explozie în amestecul combustibil gazos este necesar ca mai întîi să existe o aprindere (sau autoaprindere) a amestecului respectiv într-un punct oarecare al incintei. La un regim staţionar de ardere, porţiunea inflamată (flacăra) este separată de zonele care încă nu s-au aprins printr-un strat de o anumită grosime d, care progresează treptat cu o anumită viteză V_a — numită viteză de propagare a arderii. Această viteză depinde de viteza de transmitere a căldurii din zona de ardere spre amestecul gazos rămas încă neîncălzit. Dacă τ este timpul de ardere şi D coeficientul de difuzie pentru amestecul de gaze respectiv, atunci grosimea stratului de ardere este dată de expresia [10] :

$$d \cong \sqrt{\tau D} \quad (38)$$

iar viteza de propagare a arderii de :

$$V = \frac{d}{\tau} \simeq \sqrt{\frac{D}{\tau}} \quad (39)$$

Dacă arderea se produce la capătul unui tub deschis (bec Bunsen, de exemplu), atunci, pentru ca arderea să se mențină în regim staționar, va trebui să rulăm în flux continuu amestecul gazos din tub cu o anumită viteză V. Dar viteza de propagare a arderii V_a nu depinde de această viteză de rulare a gazului prin tub, chiar dacă condiția de staționaritate a flăcării de la gura tubului cere a fi îndeplinită condiția :

$$V_a S_a = VS \qquad (40)$$

în care S_a și S sînt secțiunile transversale ale flăcării, respectiv ale tubului.

Este interesant de remarcat că, deși în condițiile menționate mai sus arderea ar trebui să se facă în regim staționar, asigurîndu-se o curgere laminară a amestecului combustibil gazos, într-o astfel de ardere apar turbulențe, de regulă pentru numere Reynolds cu mult mai mici decît cele la care apar turbulențele în curgerea gazului respectiv. Aceste turbulențe, cînd apar în stratul de ardere ce se propagă în incinte închise, pot constitui surse ale unor perturbații elastice în mediul gazos, respectiv ale unor unde elastice. Dar există și alte cauze care conduc la apariția undelor elastice. De o importanță deosebită pentru problema arderilor explozive sînt undele de șoc.

Pentru a evidenția cauzele care determină apariția unei unde de șoc într-o incintă umplută cu amestec combustibil gazos în care s-a declanșat o aprindere, este util să analizăm cazul mai simplu al unui tub cilindric închis la un capăt, umplut cu un astfel de gaz, în care se propagă cu viteza V_a un strat de ardere de grosimea d (fig. 7). În zona II se vor găsi produsele de ardere, care se deplasează cu o viteză $V_2 \neq V_a$, ceea ce înseamnă că ele se deplasează

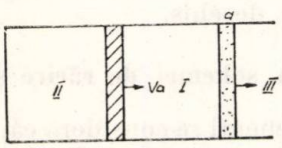


Fig. 7

față de tub cu viteza V_2. Datorită acestei deplasări apare un impuls orientat în sens invers propagării arderii. Cerința impusă de legea conservării impulsului va determina o mișcare „înainte" a gazului din fața stratului de ardere (zona I) cu viteza $V_2 - V_a$. Or, gazul din fața frontului de ardere este imobil și de aceea acest impuls va fi preluat treptat de o undă de compresiune (a, b), care se va propaga în zona III. Pe măsură ce arderea progresează, impulsul undei crește, ajungîndu-se la un moment dat ca unda (a, b) să atingă viteza maximă, egală cu vitezele mișcărilor termice ale moleculelor, cînd unda se va transforma într-o undă de șoc (cu salt de presiune și densitate).

Se știe [8] că transformările ce se produc în cadrul unei unde de șoc determină o disipare de energie mecanică sub formă de căldură. Unda de șoc este deci o undă de compresiune, însoțită de degajare de căldură. În ea se pot însă produce și alte fenomene specifice, cum sînt cele de cavitație, microdescărcări electrice, fluctuații etc.

De notat că în mult cazuri viteza de propagare a undei de șoc poate fi pusă în corespondență directă cu viteza de propagare a exploziei. Aceasta se poate datora faptului că unda de șoc este însoțită de o undă de compresiune în care gazul suferă o puternică comprimare adiabatică cu creșterea bruscă a temperaturii pînă la valori de peste $2 \cdot 10^4$ K, la care amestecul combustibil se autoaprinde. Ia naștere astfel o undă de detonație care succede undei de șoc, dar care are aceeași viteză de propagare.

Undele de șoc, respectiv undele de detonație apar în tuburi de lungimi mari, indiferent dacă acestea sînt sau nu închise la capete. Au fost definiți doi parametri care caracterizează apariția unei unde de detonație, și anume :

— lungimea de predetonație și

— timpul de predetonație,

primul reprezentînd lungimea incintei din fața frontului de ardere necesară pentru realizarea undei de detonație, iar al doilea — intervalul de timp care separă momentul aprinderii de cel al apariției undei de detonație.

Lungimea de predetonație depinde de presiune, de diametrul tubului în care aceasta se produce, de forma și calitățile pereților incintei și de temperatură. Forma și calitățile fețelor interioare ale pereților incintei în care se găsește amestecul combustibil gazos determină și forma geometrică a detonației. În anumite condiții se creează un spin de detonație, în care, pe lîngă mișcarea de translație a undei de șoc, respectiv a celei de detonație, acestea primesc și o mișcare de rotație, detonația propagîndu-se sub forma unei mișcări elicoidale, cu orientarea arderii pe anumite direcții. Așa se explică de ce explozia produce uneori distrugeri mari numai pe anumite porțiuni ale incintei. Uneori creșterea bruscă a presiunii și temperaturii provocată de unda de șoc realizează condițiile necesare pentru apariția, în diferite puncte ale amestecului gazos, a noi centri activi, respectiv a noi radicali liberi, care pot genera noi lanțuri de reacție.

Cele de mai sus evidențiază pregnant complexitatea și diversitatea proceselor de ardere explozivă ale amestecurilor combustibile gazoase. Avînd în vedere deficiențele care se mai remarcă într-o serie de cazuri în depistarea cauzelor care au generat explozii în amestecuri combustibile gazoase (cu deosebire în stațiile

de compresoare), considerăm că în asigurarea condiţiilor tehnice de siguranţă în funcţionarea unor asemenea instalaţii trebuie avute în vedere toate posibilităţile de declanşare a exploziilor (prin reacţii în lanţ sau prin undă de şoc — undă de detonaţie) semnalate în lucrarea de faţă.

Se pare că în anumite cazuri nu are sens noţiunea de temperatură de aprindere sau inflamare, putîndu-se considera cel mult o anumită temperatură critică sub care fenomenul de aprindere nu se mai poate produce (care pentru siguranţă poate fi luată în jurul valorii de 100°C).

În aceste condiţii, proiectanţii utilajelor respective vor fi nevoiţi, firește, să ţină seama de întregul ansamblu de factori ce pot interveni într-un asemenea proces complex, de ardere explozivă în amestecuri combustibile gazoase.

Bibliografie

[1] Semenov N. N. *Tepnie reakţii.* Goshimtehizdat, Moscova, 1934.

[2] Hishelwood, C. N. şi Williamson, A. T. *The Reaction between Hydrogen and Oxygen.* Oxford University Press, New York, 1934.

[3] Kondratiev V. N. *Kinetika himiceskih gazovth reakţii.* Izd. Nauk SSSR, Moscova, 1958.

[4] Norrish, R. G. W. Disc. Faraday. Soc. 10 269 (159).

[5] Schneider, I. A. *Cinetica chimică.* E.D.P., Bucureşti, 1974.

[6] Fok, N. V. şi Nalbandian, V. A. Dokl. Akad. Nauk SSSR 85, 589, 1962.

[7] Pease, R. N. *Equilibrium and Kinetics of Gas Reactions.* Priceton University Press, 1942.

[8] Schneider, I. A. şi col. În: Rev. Roum. Chim. 13 671, 867, 1285 (1968); 15, 1827 (1970).

[9] Bednar, H. şi col. C. .I. T. Braşov, Buletin tehnico-ştiinţific II, vol. 5 şi 143, 1976.

[10] Hitrin, L. N. *Fizika gorenie i vzrtva,* 17 d, Moskovskovo universiteta, 1957.

[11] Bednar, H., Forje, A,. Inţa, I. ş. a. *Asupra unor aspecte privind o reconsiderare a noţiunilor şi elementelor de standard în cazul fizico-chimiei arderilor şi exploziilor.* Sesiunea de comunicăti tehnico-ştiinţifice ICEMENERG, Bucureşti, iunie 1980.

(Articol intrat în redacţie în septembrie 1979)

Reducerea consumurilor specifice de combustibil şi energie electrică în centralele electrice

Reducerea consumului de combustibil prin optimizarea circuitelor de răcire din CTE*)

Dr. ing. **Florica Ardeleanu** şi conf. dr. ing. **Al. Măruţă** **)

Impactul circuitelor de răcire ale termocentralelor cu mediul înconjurător implică trei elemente cu caracter contradictoriu, şi anume:

— epuizarea treptată a surselor de combustibil (fosil);

— epuizarea treptată a surselor de apă;

— protecţia mediului înconjurător.

Primul element readuce în actualitate funcţionarea în circuit deschis/mixt a termocentralelor amplasate pe cursurile interioare de apă, cu procente de 1—5% în creşterea randamentelor, funcţie de calitatea apei de răcire, nemaiputînd fi neglijat. Următoarele două elemente reprezintă, în schimb, constrîngeri în realizarea acestui deziderat.

Rolul important al apei ca agent de răcire duce la necesitatea găsirii soluţiilor optime, din punct de vedere economic, ale:

— dimensionării condensatoarelor turbinelor;

— proiectării circuitelor de răcire;

— exploatării economice a circuitelor de răcire.

Problema optimizării funcţionării circuitelor de răcire depăşeşte, de altfel, cazul funcţionării mixte. Ea se pune astăzi chiar pentru termocentralele funcţionînd în circuit complet închis sau complet deschis.

1. Precizarea schemei de răcire şi a debitelor

În cazul general se consideră că, din puterea N furnizată la un moment dat de o termocentrală, o parte — N_F — este asigurată de apa rece provenită dintr-o sursă naturală de apă, iar o parte — N_T — este asigurată prin recirculare şi răcire în turnuri:

$$N = N_F + N_T \tag{1}$$

Din scrierea ecuaţiilor de bilanţ termic şi de continuitate rezultă în final relaţia de legătură între puterea N şi parametrii hidraulici şi termici ai apei de răcire [1]:

$$N = Q^* \cdot \Delta T^*/J, \tag{2}$$

în care Q^*, respectiv T^* reprezintă valori-perechi ale debitelor, respectiv ale diferenţe-

*) Comunicare prezentată la cea de-a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din România. Braşov, 4—6 decembrie 1980.

**) Dr. ing. Florica Ardeleanu este şef de laborator în ICEMENERG; dr. ing. Al. Măruţă este conferenţiar la Institutul de construcţii Bucureşti.

lor de temperatură (debite, respectiv diferență de temperatură în dreptul condensatoarelor — indice c; debite prelevate din sursă — indice F, respectiv supraîncălzirea sursei de debit Q_S, după evacuare — indice s; debite vehiculate în turnuri, respectiv căderea de temperatură după răcire — indice T), J fiind un coeficient dimensional de echivalență, dependent de tipul centralei și de caracteristicile grupurilor termoenergetice.

Introducerea datelor într-un calculator de proces sau simpla nomografiere a rezultatelor (fig. 1) decid asupra debitului prelevabil din emisar, respectiv asupra debitului ce trebuie vehiculat prin turnuri.

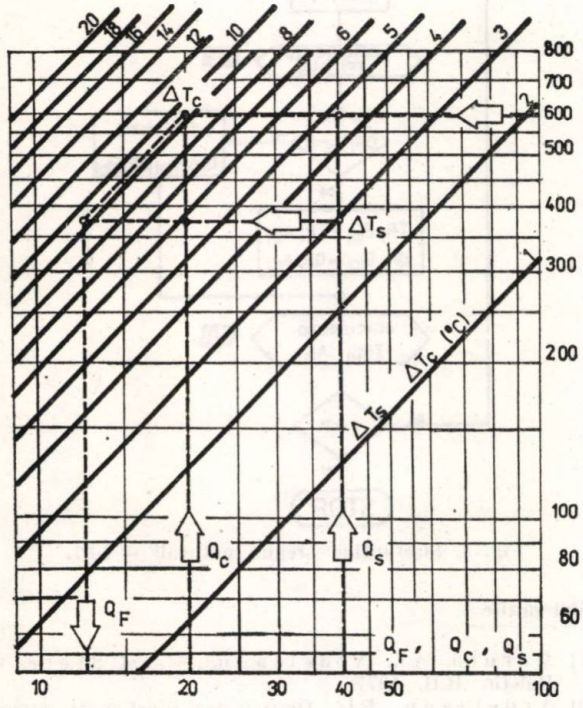


Fig. 1. Nomogramă pentru calculul debitelor de răcire la o termocentrală.

Aceste date fiind cunoscute (și obligatorii), se procedează la optimizarea funcționării circuitului de răcire.

2. Analiza exergetică a problemei optimizării

Pentru o tratare sintetică și intuitivă a problemei optimizării a fost abordată metoda analizei exergetice a funcționării circuitului de răcire în interacțiune cu partea caldă a condensatoarelor [2].

Se pleacă de la structura energiei E furnizată de sistemul termic al grupului termoenergetic (fig. 2), conform căreia exergia utilă E_u se obține prin scăderea anergiei Carnot E_A, a exergiei E_c consumată pentru evacuarea anergiei E_A, respectiv a pierderilor E_p de exergie.

Rezultă relația:

$$E_u = E - (E_A + E_c + E_p) \qquad (3)$$

Avînd în vedere expresia anergiei Carnot:

$$E_A = E \cdot T_{cc}/T_v \qquad (4)$$

și ținînd seamă că aburul condensat după traversarea condensatorului are o temperatură $T_B > T_{cc}$ (T_{cc} reprezintă temperatura apei reci la intrare în condensatoare), se obține în final, după cîteva transformări:

$$E_u = E(\eta_c - \varepsilon_p) - E_u, \qquad (5)$$

în care η reprezintă randamentul Carnot, iar ε_p efectul pierderilor de exergie, care crește cu raportul T_{cc}/T_B (vezi și fig. 2).

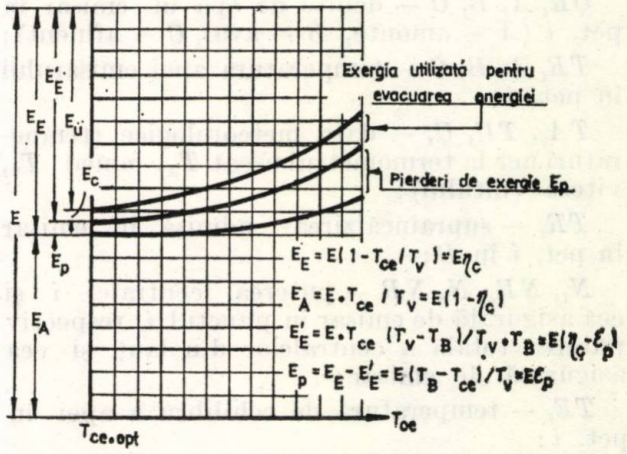


Fig. 2. Structura energiei furnizate în sistemul termic al unui grup termoenergetic.

Cum ε_p scade numai în condițiile creșterii lui E_c, din însumarea variației consumului suplimentar de combustibil Δq_p aferent pierderilor E_p și a variației consumului de combustibil Δq_c aferent evacuării energiei — ambele funcții de temperatură T_{cc} —, se obține curba integrală $\varepsilon\Delta_q$, care admite într-o situație dată (N, Q_c, Q_F, ΔT_S, parametri atmosferici...) un minim, corespunzător temperaturii optime T_{opt} la intrare în condensatoare (fig. 3).

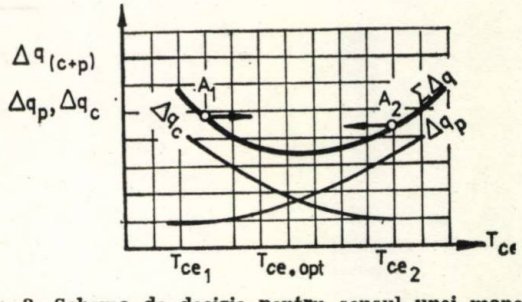


Fig. 3. Schema de decizie pentru sensul unei manevre de debit în circuitul de răcire.

Din figură rezultă că nu totdeauna optimul se obține asigurînd o apă cît mai rece la intrare în condensatoare și arată sensul în care trebuie executată o manevră la un moment dat.

3. Problema funcționării în lanț a termocentralelor pe același emisar

Optimizarea funcționării circuitelor de răcire se complică în cazul amplasării mai multor termocentrale în lungul aceluiași emisar, datorită influenței pe care o centrală din amonte o exercită asupra temperaturii apei prelevate de termocentrala din aval.

Problema a fost analizată pe larg sub aspect analitic în [1] și sub aspectul folosirii calculului automat, în [3]. Aici se prezintă numai o schemă logică a programului principal, aplicată la centralele de pe rîul Jiu [3].

Notațiile sînt :

QR_i A, B, C — debite de apă în emisar în pct. i (A — amonte, B — aval, C — afluent) ;

TR_i A, B, C — temperatura apei emisarului în pct. i ;

TA_i, TU_i U_i — date meteorologice (temperaturi aer la termometrul uscat T_A, umed T_u, viteza vîntului) ;

TR_i — supraîncălzirea admisă în emisar în pct. i în B ;

N_i, NR_i, N, NR — puterea centralei i și cea asigurată de emisar în punctul i, respectiv puterea totală a centralelor din lanț și cea asigurată de emisar ;

TE_i — temperatura de echilibru a apei în pct. i ;

J — coeficient dimensional de echivalență ;

SP — subprogram.

Programul este ajutat de patru subrutine : una care reconstituie regimul natural al temperaturilor în raport cu temperatura apei în emisar, în punctul de priză al centralei din amonte, și a doua, care stabilește parametrii termici și hidraulici ai circuitului de răcire, pentru fiecare centrală a lanțului, iar celelalte două subrutine calculează temperatura de echilibru, respectiv bilanțuri termice. Programul stabilește optimul repartiției de putere între termocentralele lanțului, în condiții de putere pe sistem, parametri hidrometeorologici și condițiile lor de protecție cunoscute.

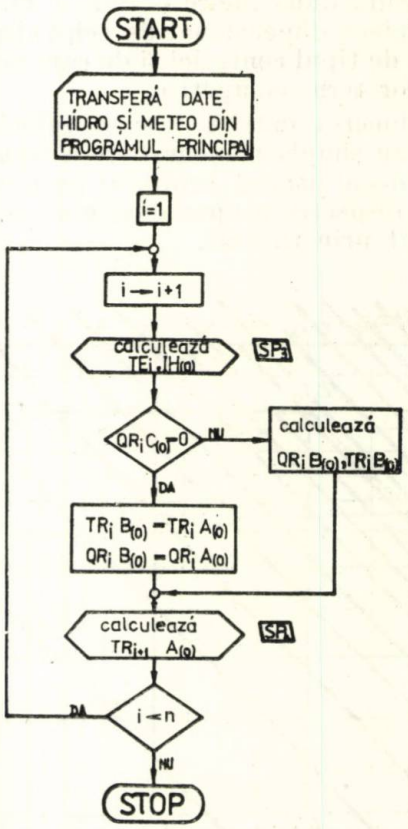


Fig. 4. Subrøutine „regim natural" — SP1.

Bibliografie

[1] Măruță, Al., Ardeleanu, Fl. și Stere, C. Buletin ICB, 1977.

[2] Ardeleanu, Fl. *Optimizarea funcționării circuitelor de răcire ale centralelor termoelectrice.* În : Energetica 26, nr. 10, 1978.

[3] Ardeleanu, Fl., Măruță, Al. și Treanță, P. *Optimizarea funcționării unor centrale termoelectrice care utilizează apa aceluiași riu.* În : Energetica 28, nr. 10—11, 1980.

Influența electromagnetică a LEA 110 kV asupra LTc prin luarea în considerare a conductorului de pământ

Ing. I. Prelipcean
și ing. R. Sfichi *)

1. Considerații generale

Coexistența liniilor de energie electrică cu liniile de telecomunicații ridică în etapa actuală de dezvoltare a sistemului electroenergetic probleme tot mai dificile, datorită:

— pătrunderii liniilor de înaltă și foarte înaltă tensiune în cele mai diferite zone ale țării;

— creșterii rapide a puterilor de scurtcircuit;

— reducerii distanțelor de amplasament între liniile de energie și cele de telecomunicații din considerente de păstrare, conservare și utilizare rațională a fondului funciar.

În aceste condiții, efortul de investiții necesar pentru protejarea liniilor de telecomunicații (LTc) este, în majoritatea cazurilor, destul de important în raport cu efortul de investiții în instalațiile electroenergetice de bază. Ca urmare se impune luarea tuturor măsurilor și considerarea tuturor fenomenelor care conduc la diminuarea influenței instalațiilor electroenergetice asupra instalațiilor de telecomunicații.

Lucrarea de față își propune analiza influenței LEA 110 kV asupra LTc în condițiile utilizării unui conductor prin pământ, fie din considerente de stabilitate termică a firului de gardă, fie din considerente legate numai de subiectul pus în discuție.

Utilizarea conductorului de pământ numai din considerente de stabilitate termică a firului de gardă poate fi considerată ca o soluție rațională în condițiile unui plafon ridicat al puterii de scurtcircuit și după ce s-a procedat la mărirea secțiunii acestui fir în gama permisă de caracteristicile de rezistență mecanică ale stîlpilor de fabricație curentă.

Pentru un scurtcircuit pe o linie aeriană alimentată de la ambele capete (stațiile trafo A și B) se poate determina valoarea maximă a puterii de scurtcircuit, care impune mărirea secțiunii firului de gardă sau introducerea unui conductor prin pământ. Astfel, notînd cu I_A și I_B aportul dinspre cele două stații de alimentare, curentul de scurtcircuit în locul de defect este:

$$I_k = I_A + I_B \tag{1}$$

Valoarea curentului de scurtcircuit ce se întoarce prin firul de gardă se poate scrie sub forma [2]:

$$I_g = k_A I_A + k_B I_B, \tag{2}$$

în care k_A și k_B sînt coeficienți de repartiție a curentului de scurtcircuit prin firul de gardă.

Făcînd notația

$$\frac{I_A}{I_B} = k_{AB}, \tag{3}$$

din relațiile (1) și (2) se obține funcția $I_g = f(I_k)$, explicitată sub forma:

$$I_g = I_k \frac{k_A k_{AB} + k_B}{1 + k_{AB}} \tag{4}$$

Pentru o valoare maximă admisibilă a curentului I_g, pentru care stabilitatea termică a firului de gardă nu este afectată (I_{gad}), se poate determina curentul de scurtcircuit, respectiv puterea de scurtcircuit peste care se impune mărirea secțiunii sau utilizarea conductorului de pământ,

$$I_k = I_{gad} \frac{1 + k_{AB}}{k_A k_{AB} + k_B} \tag{5}$$

La scurtcircuit în zona în care influența prizelor stațiilor A și B nu se mai manifestă, coeficienții k_A și k_B nu depind de numărul stîlpului cu defect și sînt constanți pentru o anumită secțiune a firului de gardă [2].

Considerînd valorile pentru situațiile uzuale (deschiderea între stîlpi 200 m și fir de gardă de Ol 70 mm² sau Ol—AlS — 95 mm²), s-au trasat diagramele de variație a puterii de scurtcircuit maxim admise (S_k) funcție de raportul k_{AB} și timpul de funcționare a protecției (fig. 1 *a* și 1 *b*).

Se constată faptul că puterea de scurtcircuit, care aduce firul de gardă la limita stabilității termice, este foarte puțin influențată de raportul curenților de scurtcircuit dinspre cele două capete de alimentare (k_{AB}). Diagrama din figura 1 *a* s-a trasat pentru un timp de funcționare a protecțiilor de 0,6 s, corespunză-

*) Ioan Prelipcean este inginer proiectant la IRE Suceava; Romulus Sfichi este inginer principal proiectant grad I la aceeași întreprindere.

tor treptei a doua a protecţiei de distanţă (situaţie nefavorabilă cînd se înregistrează un refuz în prima treaptă), remarcîndu-se necesitatea schimbării conductorului de OL — 70 mm², la un plafon de scurtcircuit de 2600 MVA, cu un conductor de Ol—AlS — 95 mm², fără însă ca această soluţie să satisfacă nivelul de 3800—4100 MVA. În această situaţie se pune problema adoptării unei secţiuni şi mai mari decît 95 mm² pentru firul de gardă, dar care, de regulă, conduce la depăşirea sarcinilor mecanice de calcul ale seriei de stîlpi utilizaţi.

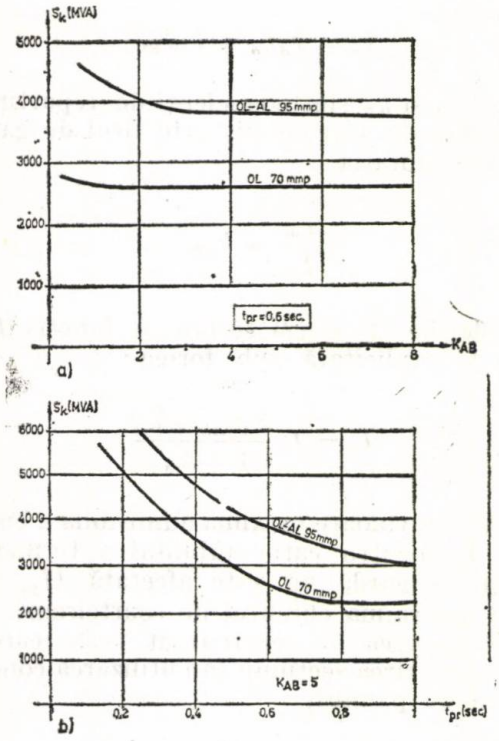


Fig. 1

Considerarea unui timp de deconectare mai redus (fig. 1 *b*) conduce la ridicarea acestor limite, dar acest lucru este foarte dificil de realizat cu sistemele de protecţie existente în prezent în instalaţii. Mai mult chiar, la un refuz de întrerupător, izolarea defectului prin declanşarea adiacentă se poate face la timpi mai mari de 0,6 s, situaţie în care mărirea secţiunii firului de gardă peste 95 mm² Ol—AlS se pune la un plafon de scurtcircuit mai redus. De aici necesitatea, în asemenea situaţii, a utilizării conductorului prin pămînt.

2. Determinarea factorului de reducere a LEA 110 kV în prezenţa conductorului de pămînt

Considerînd un defect monofazat la un stîlp k din LEA 110 kV (fig. 2), curentul de scurtcircuit I_a, dinspre o staţie, va găsi trei căi de întoarcere : conductorul de gardă (I_g), conductorul de pămînt (I_p) şi pămîntul. Reţinîndu-se o singură deschidere a LEA 110 kV (fig. 3 *a*), se pot scrie următoarele ecuaţii între cei trei curenţi şi impedanţele proprii, respectiv mutuale, ale circuitelor

$$\left.\begin{aligned} U_g + I_a Z_{ag} &= I_g Z_g + I_p Z_{gp} \\ U_p + I_a Z_{ap} &= I_p Z_p + I_g Z_{gp} \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

Conductoarele de protecţie şi pămînt fiind legate la fiecare stîlp în parte, se poate considera :

$$U_g = U_p = U \qquad (7)$$

Avînd în vedere (7), sistemul de ecuaţii (1) este echivalent cu ecuaţia :

$$U + I_a \frac{Z_{ag}(Z_p - Z_{gp}) + Z_{ap}(Z_g - Z_{gp})}{Z_g + Z_p - 2Z_{gp}} = (I_g + I_p)\frac{Z_g Z_p - Z_{gp}^2}{Z_g + Z_p - 2Z_{gp}} \qquad (8)$$

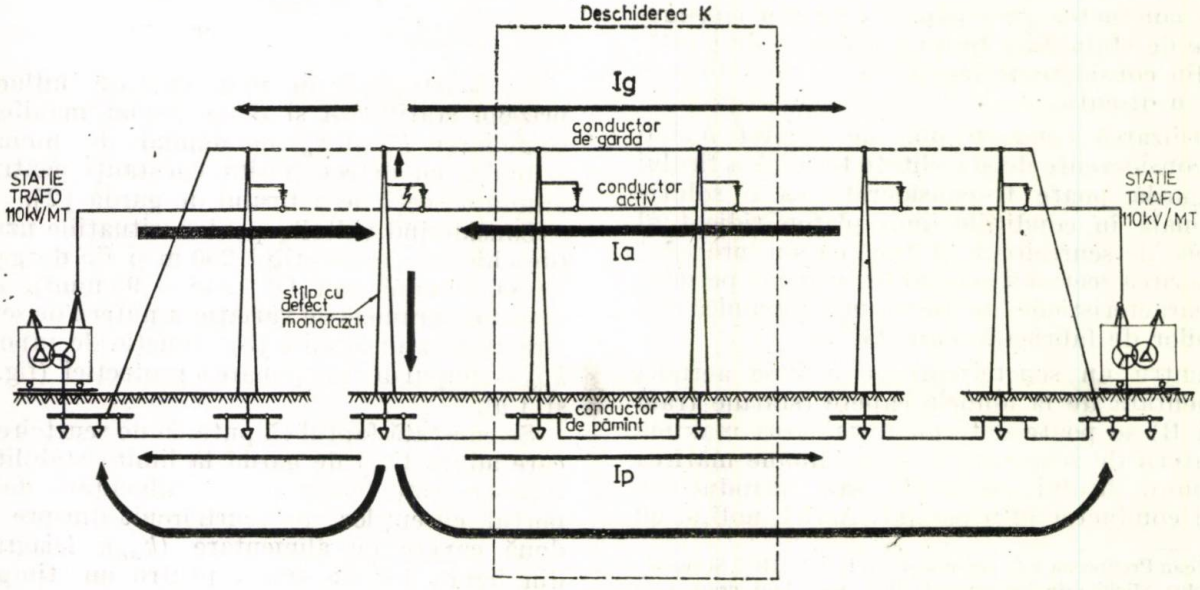


Fig. 2. Sistemul de curenţi echilibrat.

Notînd cu Z_{pp} și Z_{app} impedanța proprie echivalentă a ansamblului conductor de protecție — conductor de pămînt, respectiv impedanța mutuală a acestui ansamblu cu conductorul activ, se obține o ecuație echivalentă corespunzătoare schemei echivalente din figura 3 *b*:

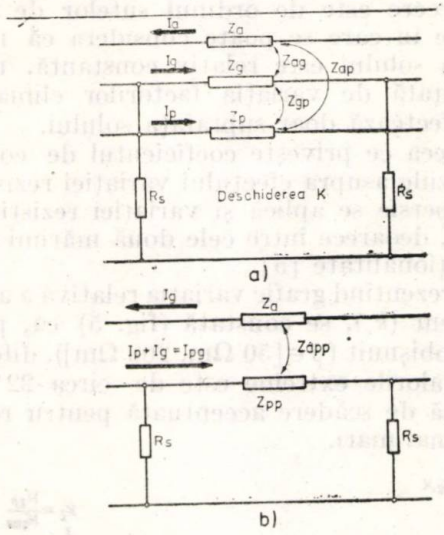


Fig. 3. Schemele echivalente pentru determinarea ciculației curenților echilibrați.

$$U + I_a Z_{app} = I_{pg} Z_{pp}, \tag{9}$$

în care

$$Z_{app} = \frac{Z_{ag}(Z_p - Z_{gp}) + Z_{ap}(Z_g - Z_{gp})}{Z_g + Z_p - 2Z_{gp}} \tag{10}$$

$$Z_{pp} = \frac{Z_g Z_p - Z_{gp}^2}{Z_g + Z_p - 2Z_{gp}} \tag{11}$$

$$I_{pg} = I_g + I_p \tag{12}$$

Ecuațiile (6) au fost scrise pentru sistemul echilibrat de curenți [3], situație în care potențialele a doi stîlpi consecutivi sînt egale ($U = 0$), și deci relația (9) devine:

$$I_a Z_{app} = I_{pg} Z_{pp} \tag{13}$$

Factorul de reducere r [1] a ansamblului de conductoare de gardă și protecție, definit ca raportul între valoarea curentului prin pămînt și curentul total de scurtcircuit, rezultă a fi:

$$r = \frac{I_a - I_{gp}}{I_a} = 1 - \frac{I_{gp}}{I_a} = 1 - \frac{Z_{app}}{Z_{pp}} \tag{14}$$

Înlocuind (10) și (11) în (14), se obține:

$$r = 1 - \frac{Z_{ag}(Z_p - Z_{gp}) + Z_{ap}(Z_g - Z_{gp})}{Z_g Z_p - Z_{gp}^2} \tag{15}$$

Se precizează că factorul de reducere determinat cu relația (15) nu ține seama de repartiția galvanică a curentului de scurtcircuit prin prizele de punere la pămînt a stîlpilor din zona limitrofă defectului.

Potrivit [4] este necesar să se introducă un coeficient de corecție subunitar (k_c), calculele de influență urmînd să se execute cu factorul de reducere corectat:

$$r_c = k_c r;\ k_c = 1 - \frac{1+\delta}{n_p} \cdot \frac{1+\beta}{\beta(2+\beta)}, \tag{16}$$

în care

δ este raportul curenților de scurtcircuit dinspre stațiile adiacente locului cu defect;

n_p — numărul de deschideri de paralelism între LEA și LTc;

β — raportul dintre impedanța de lanț (W_L) și rezistența electrică de dispersie a stîlpului LEA (R_S).

3. Particularitățile determinării coeficientului de corecție, în prezența conductorului de pămînt

Considerînd raportul curenților de scurtcircuit (δ) și numărul de deschideri de paralelism (n_p) constante pentru o situație dată, vom reține numai termenul variabil din relația (16_2):

$$A = \frac{1+\beta}{\beta(2+\beta)} \tag{17}$$

Înlocuind $\beta = \frac{W_L}{R_S}$ în (12), se obține:

$$A = \frac{(W + R_S) R_S}{W_L (W_L + 2R_S)} \tag{18}$$

Din (18) rezultă influența determinantă a rezistenței prizei de punere la pămînt a stîlpilor, atît direct, prin R_S, cît și indirect, prin W_L, asupra valorii coeficientului de corecție $k_c = f(A)$, deoarece impedanța de lanț W_L este tot o funcție de R_S și Z_{pp} [3]:

$$W_L = \frac{Z_{pp}}{2} + \sqrt{\left(\frac{Z_{pp}}{2}\right)^2 + Z_{pp} R_S} \tag{19}$$

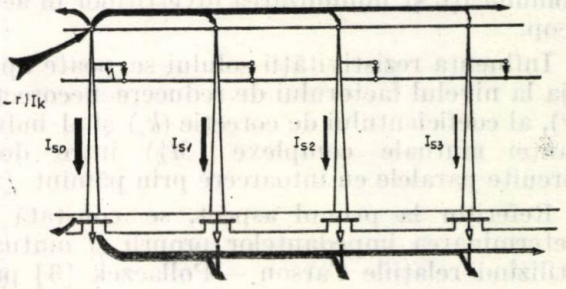


Fig. 4. Sistemul de curenți suplimentar.

Relaţiile de calcul prezentate sînt valabile în cazul utilizării unui conductor de pămînt izolat; pentru un conductor neizolat trebuie luată în considerare participarea acestuia la diminuarea rezistenţei electrice de punere la pămînt a stîlpilor prin introducerea în paralel a unei rezistenţe suplimentare de dispersie [5]:

$$R_C = 0{,}732 \frac{\rho}{l} \log \frac{l}{d}, \qquad (20)$$

în care

l este lungimea medie a unei deschideri (m);

d — diametrul conductorului de pămînt (m);

ρ — rezistivitatea solului (Ω.m).

În aceste condiţii, rezistenţa R_S a prizei stîlpului se înlocuieşte cu una echivalentă, R_{SC}, prin care se ţine seama de dispersia în pămînt a curentului distribuit prin stîlpii adiacenţi stîlpului cu defect:

$$R_{SC} = \frac{R_S R_C}{R_S + R_C} < R_S \qquad (21)$$

Introducerea conductorului de pămînt conduce, aşa cum se observă din (18), pe de o parte la micşorarea valorii coeficientului $k_c = f(A)$, prin diminuarea impedanţei iterative de lanţ (W_L), care are ca efect creşterea termenului A, iar pe de altă parte, la creşterea valorii $k_c = f(A)$, prin diminuarea rezistenţei de dispersie totală a prizei (R_{SC}), care are ca efect scăderea valorii termenului A.

Calculele numerice efctuate confirmă ca mai important efectul scăderii valorii R_{SC} asupra măririi coeicientului k_c, motiv pentru care este de preferat, din acest punct de vedere, un conductor izolat.

4. Influenţa rezistivităţii solului

Avînd un domeniu foarte larg de variaţie, funcţie de natura solului şi condiţiile meteorologice, mărimea rezistivităţii solului ridică probeme dificile referitoare la valoarea care trebuie adoptată în calcule fără a afecta cele două aspecte importante care se impun: siguranţa în funcţionare a instalaţiilor de telecomunicaţii şi minimizarea investiţiilor în acest scop.

Influenţa rezistivităţii solului se poate aprecia la nivelul factorului de reducere necorectat (r), al coeficientului de corecţie (k_c) şi al inductanţei mutuale complexe (M'_E) între două circuite paralele cu întoarcere prin pămînt [1].

Referitor la primul aspect, se constată că determinarea impedanţelor proprii şi mutuale utilizînd relaţiile Carson — Pollaczek [3] presupune aflarea adîncimii de întoarcere prin pămînt a curentului de scurtcircuit, singurul element ce depinde de rezistivitatea solului.

Calculele efectuate [2] atestă că adîncimea de întoarecere este de ordinul sutelor de metri, situaţie în care se poate considera că rezistivitatea solului este relativ constantă, nefiind influenţată de variaţia factorilor climaterici, care afectează doar suprafaţa solului.

În ceea ce priveşte coeficientul de corecţie, concluziile asupra efectului variaţiei rezistenţei de dispersie se aplică şi variaţiei rezistivităţii solului, deoarece între cele două mărimi există proporţionalitate [5].

Reprezentînd grafic variaţia relativă a acestui coeficient (k_c), se constată (fig. 5) că, pentru un sol obişnuit ($\rho \in [50\ \Omega\text{m}, 200\ \Omega\text{m}]$), diferenţa între valorile extreme este de circa 22%, cu tendinţă de scădere accentuată pentru rezistivităţi mai mari.

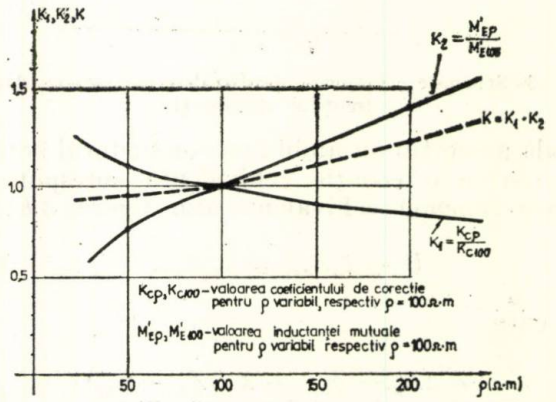


Fig 5. Variaţia relativă a coeficientului de corecţie şi a inductanţei mutuale complexe funcţie de rezistivitatea solului.

Executînd aceeaşi reprezentare grafică pentru inductanţa mutuală complexă (M'_E), [1], se constată că variaţia relativă (raportată la M'_E pentru $\rho = 100\ \Omega$m) acoperă un interval de circa 58%, cu tendinţa creşterii accentuate pentru valori mari ale rezistivităţii (fig. 5).

Se desprinde astfel concluzia că, pentru intervalul determinat de variaţie a rezistivităţii solului, calculele de influenţă trebuie efectuate pentru limita superioară chiar în condiţiile utilizării coeficientului de corecţie, deoarece efectul diminuator al acestuia nu compensează creşterile mai importante ale inductanţei mutuale de cuplaj inductiv.

5. Determinarea contribuţiei conductorului de pămînt pentru situaţii practice

În cadrul lucrării s-au efectuat calculele privind valoarea factorului de reducere în prezenţa conductorului de pămînt pentru o LEA 110 kV simplu circuit, echipată cu un conductor de protecţie OL Al S—95/50 mm², şi s-a reprezentat grafic variaţia acestui factor, atît cu considerarea conductorului de pămînt cît şi în

absența acestuia (fig. 6), în funcție de numărul de deschideri de paralelism (n_p).

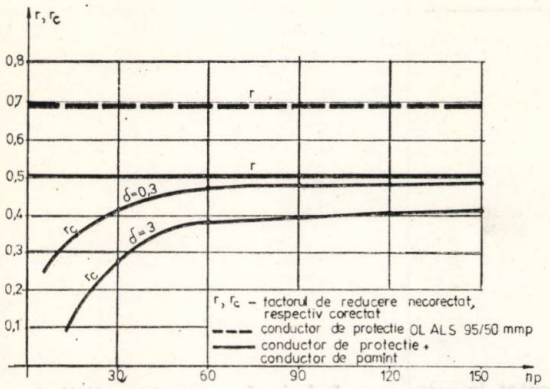


Fig. 6. Variația factorului de reducere funcție de numărul deschiderilor în paralelism.

În calculele efectuate s-a considerat un sol obișnuit, cu $\rho \in [50\ \Omega m, 200\ \Omega m]$, reținîndu-se, conform celor prezentate în § 4, numai limita superioară.

Reprezentarea grafică s-a executat pentru două valori diferite ale raportului δ (0,3 și 3).

Analiza graficului din figura 6 conduce la următoarele constatări:

— introducerea unui conductor de pământ permite adoptarea în calcul a unui factor de reducere (r) necorectat mai mic, valoarea tensiunii induse de calcul reducîndu-se cu circa 30%:

— corectarea factorului de reducere ($r_c = k_c \cdot r$) ținînd seama de distribuția galvanică a curentului de scurtcircuit prin stîlpii din zona limitrofă stîlpului cu defect conduce la diminuarea suplimentară a tensiunii induse de calcul cu încă 5—30%, funcție de lungimea de paralelism și raportul δ;

— corecția factorului de reducere presupune rezultate concludente pentru lungimi medii de paralelism de 6—10 km.

Concluzii

1. În lucrare se analizează influența LEA 110 kV asupra LTc în condițiile utilizării unui conductor de pămînt fie din considerente de stabilitate termică a firului de gardă, fie din considerente legate exclusiv de coexistența LEA — LTc.

2. În prezența conductorului de pămînt, factorul de reducere considerat are drept efect diminuarea tensiunii induse de calcul cu 35—60% și cu implicații favorabile asupra valorilor de investiții necesare protecției LTc.

3. Considerarea coeficientului de corecție rezultat prin suprapunerea sistemului suplimentar de curenți (datorat repartiției galvanice în porțiunile adiacente locului cu defect) peste sistemul de curenți echilibrat prezintă un interes deosebit mai ales pentru limita superioară a intervalului de variație a rezistivității solului, unde inductanța mutuală complexă este maximă.

4. Diminuarea tensiunii induse de calcul prin considerarea celor prezentate este, de altfel, în concordanță cu rezultatele diferitelor măsurători ce au evidențiat valori mai mici ale acestei tensiuni față de datele de proiect calculate conform [1].

Bibliografie

[1] * * * STAS 832—68. *Influențe ale liniilor de energie electrică asupra liniilor de telecomunicații.*

[2] * * * M.E.E. — I.S.P.E. *Studiu privind dimensionarea și verificarea la stabilitate termică a elementelor componente ale LEA, solicitate de curenții de scurtcircuit.* Lucrarea nr. 6476/1969.

[3] Oeding, D. și Ufermann, T. *Erdung von Hochspannungs-Freileitungsmasten.* În: BBC-Nachrichten, nr. 10, 1962.

[4] Prelipcean, I. și Sfichi, R. *Considerații privind calculul factorului de reducere introdus de conductorul de protecție al LEA 110 kV simplu circuit aflat în paralelism cu liniile de telecomunicații.* În: Energetica, nr. 8, 1977, pag. 297—301.

[5] Sufrim, M. *Protecția împotriva tensiunilor accidentale.* Editura tehnică, București, 1967.

(Articol intrat în redacție în august 1979)

Un model matematic pentru estimarea procesului de eroziune a rotoarelor morilor-ventilator

Ing. **L. Mihăescu**,
și ing. **T. Mihăescu***)

Modelul matematic prezentat în articolul de față fiind obținut pe cale analitică, este necesară verificarea lui prin experimentări. În acest sens, redacția revistei așteaptă, din partea cititorilor, exprimarea punctului lor de vedere, precum și comunicarea rezultatelor cu privire la aplicarea acestui model matematic în practică.

1. Considerații generale asupra procesului de eroziune la morile-ventilator

În cazul măcinării combustibililor solizi cu un ridicat conținut de cenușă, precum și la cei cu un procent ridicat de SiO_2 în masa minerală, viteza de uzură a elementelor de măcinare reprezintă un criteriu important în construcția morilor de tip ventilator, deoarece aceasta determină fiabilitatea instalației.

În principiu, moara-ventilator (prezentată în fig. 1) este asemănătoare cu un ventilator radial, montat într-o carcasă spirală, ea îndeplinind atît funcția de măcinare, cît și cea de ventilație (de transport pneumatic al prafului de combustibil la arzător). Datorită depresiunii din fața rotorului, moara poate aspira gaze de ardere fierbinți de la finele focarului, gaze care, alături de aerul primar și în unele situații și de gazele de ardere recirculate din zona finală a cazanului, constituie fluidul de uscare și transport pentru combustibilul măcinat.

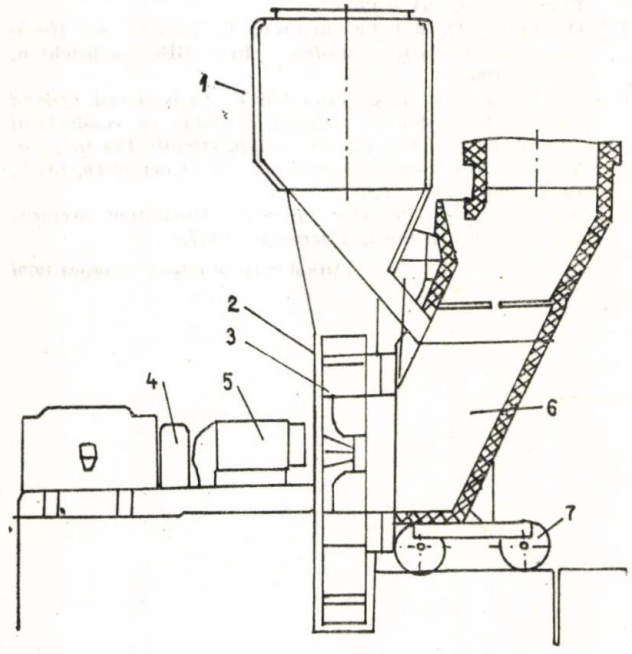


Fig. 1. Moară-ventilator simplă.

Uzura produce, pe lîngă scăderea debitului morii, și dezechilibrări ale rotorului, apărînd astfel vibrații puternice și chiar avarii. Pentru siguranța rulmenților, se limitează amplitudinea vibrațiilor la circa 50 μm [1], [4].

Intensitatea fenomenului de uzură (erodare) depinde de traiectoria particulelor prin moară, de rezistența la eroziune a elementelor metalice supuse eroziunii, de natura combustibilului și de finețea de măcinare realizată. Diagramele din figurile 2, 3, 4 și 5 prezintă influența calității combustibilului (caracterizată prin cantitatea de material mineral A^t și prin proporția de bioxid de siliciu, SiO_2, aflat în acesta), precum și a granulației de măcinare asupra debitului morii și a uzurii specifice (exprimată în grame de metal erodat la măcinarea unei tone de combustibil) [2], [3], [4].

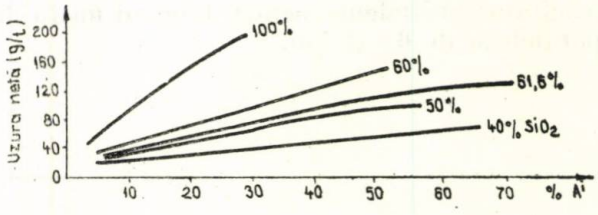


Fig. 2. Variația consumului specific de metal funcție de conținutul de cenușă, A^t, de conținutul de SiO_2 din cenușă, pentru finețe medii de măcinare ($R_{90} \simeq 45\%$).

* Ing. Lucian Mihăescu este cadru didactic la Catedra „Cazane și turbine" de la Institutul Politehnic București; ing. Teodor Mihăescu este inginer la Intreprinderea Vulcan-București.

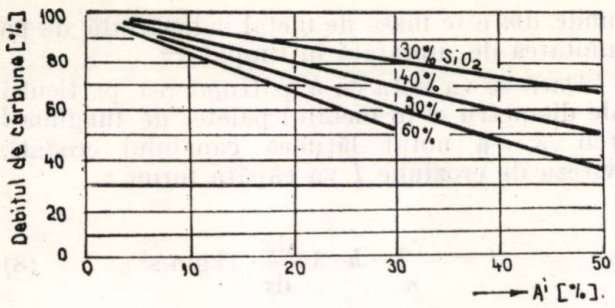


Fig. 3. Variația debitului relativ al morii funcție de variația conținutului de cenușă al combustibilului pentru o moară ventilator.

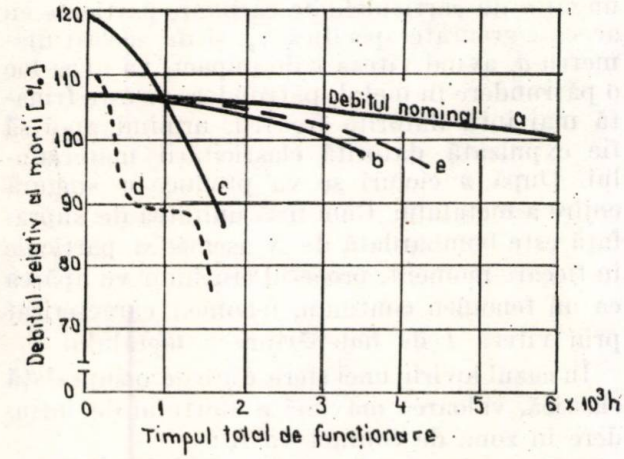


Fig. 4. Influența timpului de funcționare asupra debitului morii pentru morile rapide:

a — huilă; *b* — cărbune brun cu luciu smolos; *c* — cărbune brun cu conținut ridicat de cenușă; *d* — funcționare anormală; (*a* — *d* — mori-ventilator; *e* — cărbune brun în moară cu ciocane).

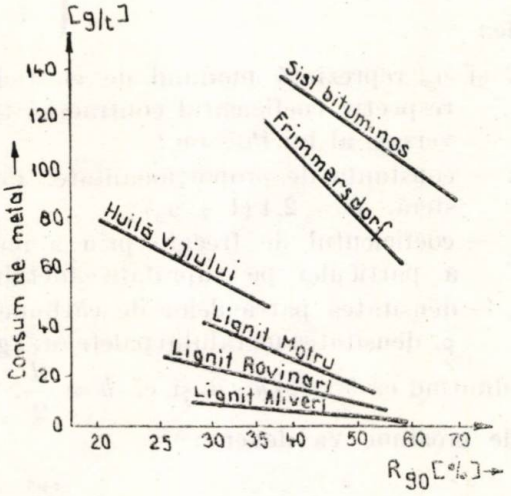


Fig. 5. Variația consumului specific de metal funcție de finețea de măcinare.

2. Modele fizice pentru exprimarea fenomenelor de eroziune

În [5] se prezintă un model pentru studiul eroziunii produse de particule solide la un rotor de ventilator radial. Modelul matematic consideră o uzură uniformă în lungul paletei de lungime L, produsă de zgîrierea unei particule de masă m. În această ipoteză, funcția de uzură U a reieșit proporțională cu forța de frecare $f.P$:

$$U = f \cdot P \cdot w_s \tag{1}$$

unde f este coeficientul de frecare de alunecare, P presiunea normală exercitată de particulă pe paletă, iar w_s viteza relativă a particulei față de paletă.

Exprimînd forța normală P pentru un ventilator radial cu expresia $P = m\left(2\omega w_s - \omega^2 r \cdot \cos\beta \pm \frac{w_s^2}{R}\right)$ — unde ω este viteza unghiulară, β unghiul de înclinare al paletei, semnul minus corespunzînd cazului $r_2 \cos\beta_2 > r_1 \cdot \cos\beta_1$, iar semnul plus cazului $r_2 \cos\beta_2 < r_1 \cdot \cos\beta_1$ —, s-a obținut în final relația:

$$U_m = \frac{u_2^3}{r_2} \sum m \frac{f}{L} \int_0^L \left(2\bar{w}_s^2 - \bar{w}_s \bar{r} \cos\beta \mp \frac{\bar{w}_s^3}{\bar{R}}\right) dy, \tag{2}$$

unde:

$\sum m$ este masa particulelor de cărbune pentru o paletă:

$$\bar{r} = \frac{r}{r_2}; \quad \bar{R} = \frac{R}{r_2}; \quad \bar{w}_s = \frac{w_s}{u_2}; \quad \bar{L} = \frac{L}{r_2}$$

L — lungimea de erodare a paletei;
y — coordonată curentă.

Particularizînd relația (2) pentru cazul morilor-ventilator la care $\beta = \frac{\pi}{2}$, se va obține:

$$U_m = \frac{u_2^3}{r_2} \sum m \frac{f}{L} \int_0^L \bar{w}_s \left(2 - \frac{\bar{w}_s^2}{\bar{R}}\right) dy \tag{3}$$

Cum $\sum m \sim \frac{\mu}{z} Qt$, reducerea grosimii paletei, Δs, în timpul τ va rezulta de forma:

$$\Delta s \sim \frac{\mu}{z} Q \frac{u_2^3}{r_2} J\tau, \tag{4}$$

unde μ este concentrația fazei solide în kg/m^3, z — numărul de palete, Q — debitul de fluid de transport în m^3/h, τ timpul în h, iar:

$$J = \frac{f}{\bar{L}} \int_0^{\bar{L}} \bar{w}_s^2 \left(2 - \frac{\bar{w}_s}{\bar{R}}\right) d\bar{y} \tag{5}$$

Rezultă o proporționalitate liniară a adîncimii de erodare cu timpul τ și cu concentrația fazei solide și o dependență la puterea a treia de turația rotorului.

În lucrare, o analiză a funcției I, pentru diverse unghiuri β, a arătat că cel mai dezavantajos caz este cel al rotoarelor cu $\beta = \frac{\pi}{2}$.

Modelul prezentat, elaborat pentru analiza eroziunii paletelor de ventilator ce funcționează în mediu cu praf, nu poate fi extins și pentru cazul rotarelor morilor, deoarece în cursul procesului de măcinare apar ricoșări ale particulelor la lovirea cu paletele, traiectoriile de frecare devenind mai scurte, astfel încît nu mai poate fi respectată ipoteza de zgîriere continuă și uniformă a paletelor de către particule.

Drept model al fenomenului de eroziune, pentru morile-ventilator se consideră ca adecvat modelul Makarov, care pune la baza fenomenului de uzură oboseala metalului bombardat de către particulele dure de combustibil [6].

S-a observat că la lovirea sub un anumit unghi a unei plăci dintr-un metal, partea din material care se află în fața particulei va suferi o comprimare, iar partea din spatele particulei o întindere. După un număr oarecare n de astfel de cicluri, stratul superficial al plăcii va fi desprins.

În funcție de curba de oboseală a materialului, legătura dintre numărul de cicluri n și solicitarea materialului va fi:

$$n = \left(\frac{\sigma_0}{\sigma}\right)^t, \tag{6}$$

unde

n este numărul de cicluri ce duce la distrugerea materialului;

σ_0 — tensiunea de rupere pentru $n = 1$, în kgf/mm²;

σ — amplitudinea tensiunii de lovire de către cenușă, în kgf/mm²;

t — constanta de comportare a materialului din punct de vedere al rezistenței, depinzînd de duritatea contactului dintre particulele de combustibil și metalul paletelor. Pentru cazul aducerii materialului în stare de plastifiere (caz ce apare într-o placă de metal bombardată de particulele de cărbune și cenușă) $t = 2$. Experiențele indică pentru coeficientul t valori cuprinse între $t = 1$ și $t = 2$, în funcție de natura combustibilului.

Pentru caracterizarea fenomenului de uzură, s-a folosit noțiunea de viteză de eroziune, I.

$$I = g\frac{dm}{d\tau}, \tag{7}$$

unde dm este masa de metal îndepărtată de pe unitatea de suprafață în timpul $d\tau$.

Dacă se va nota cu h' pătrunderea particulei de diametru d în metalul paletei de lungime l (cu δ s-a notat lățimea canalului erodat), viteza de eroziune I va căpăta forma:

$$I = \frac{\gamma_m}{n} \cdot h \cdot \delta \frac{dx}{d\tau} \text{ [kgm/s}^3\text{]}, \tag{8}$$

γ_m fiind greutatea specifică a metalului paletei.

Într-o suprafață metalică lovită sub un unghi α de particulele de cărbune, particule cu aceeași greutate specifică γ_p și de același diametru d, avînd viteza v de impact, va avea loc o pătrundere în metal, pătrundere ce este frînată mai întîi datorită frecării, urmînd apoi să fie expulzată datorită elasticității materialului. După n cicluri se va produce o singură cojire a metalului. Cum însă unitatea de suprafață este bombardată de N asemenea particule în fiecare moment, procesul eroziunii va apărea ca un fenomen continuu, fenomen caracterizat prin viteza I de îndepărtare a metalului.

În cazul lovirii unei sfere dure de o suprafață elastică, valoarea maximă a efortului de întindere în zona de contact va fi:

$$\sigma = \frac{4E \cdot K \cdot f}{3\pi(1 - \mu_p^2)} \left(\frac{2h}{d}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{9}$$

unde:

E și μ_p reprezintă modulul de elasticitate, respectiv coeficientul contracției transversale al lui Poisson;

K — constanta de proporționalitate. Pentru sferă, $K = 2{,}4\,(1 + \mu_p)$;

f — coeficientul de frecare prin alunecare a particulei pe suprafața metalului;

ρ_c — densitatea particulelor de cărbune, iar ρ_m densitatea metalului paletelor, kg/m³.

Admițînd că $\delta = 2\sqrt{h \cdot d}$ și că $h \ll \frac{d}{2}$, viteza de eroziune va deveni:

$$I = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} N \cdot \rho_c \left[\frac{4E \cdot K \cdot f}{3\pi\,\sigma_0(1 - \mu_p^2)}\right]^t \frac{h^{\frac{t+3}{2}}}{\left(\frac{d}{2}\right)^{\frac{t-1}{2}}} - v\,(f \cdot \sin\alpha - \cos\alpha) \tag{10}$$

Pentru un regim stabilizat de eroziune (I = ct.) va trebui să se considere îndeplinită condiția h = ct.

Adîncimea maximă de pătrundere va fi dată de relaţia:

$$h_m = \left[\frac{5\pi\rho_c(1-\mu_p^2)v^2\sin^2\alpha}{4E}\right]^{\frac{2}{5}}\cdot\frac{d}{2} \qquad (11)$$

Prin înlocuirea lui h_m în relaţia (10), se va obţine următoarea expresie pentru viteza de eroziune:

$$I = \frac{1}{4}A\cdot N\cdot d^2\rho_c^{\frac{t+3}{5}}\cdot f^t\cdot v^{\frac{2t+11}{5}}\cdot\sin\alpha^{\frac{2t+6}{5}}(\cos\alpha - f\sin\alpha), \qquad (12)$$

unde:

$$A = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}5^{\frac{t+3}{5}}\cdot\gamma_m\left(\frac{k}{3\sigma_0}\right)^t\left[\frac{4E}{\pi(1-\mu_p^2)}\right]^{\frac{4t-3}{5}} \qquad (13)$$

Se remarcă dependenţa vitezei de eroziune de pătratul diametrului particulei.

Valoarea unghiului de atac care conduce la eroziunea maximă poate fi determinată prin rezolvarea ecuaţiei $\left(\text{obţinută din condiţia } \frac{dI}{d\alpha} = 0\right)$:

$$(2t+6)\operatorname{ctg}^2\alpha - f(2t+11)\operatorname{ctg}\alpha - 5 = 0 \qquad (14)$$

3. Viteza de eroziune a paletelor rotorului unei mori-ventilator

În continuare se va prezenta un model de studiu al eroziunii paletelor rotorului morilor-ventilator pe baza teoriei lui Makarov.

Traiectoria particulelor de cărbune va rezulta din ecuaţia plutirii scrisă sub forma [2]:

$$\frac{d}{d\tau}(\bar{v}_3) = \bar{F}, \qquad (15)$$

unde $\bar{v}_3$ reprezintă viteza în lungul paletei, $\bar{v}_1$ la intrarea în sistemul paletar, iar $\bar{v}_2$ la ieşirea din acesta.

Conform [2]:

$$|\bar{v}_3| = v_2 - v_1 = \frac{d}{d\tau}(x), \qquad (16)$$

x reprezentînd parcursul particulelor în lungul paletei. Modulul vectorului forţei $\bar{F}$ de plutire a particulelor va fi:

$$\bar{F} = K\frac{\pi d^2}{4}\rho_g\frac{v_1^2}{2} \qquad (17)$$

Modelul matematic a admis ipoteza existenţei particulelor de formă sferică de diametru d.

K reprezintă coeficientul de rezistenţă aerodinamică, coeficient ce depinde de cifra Reynolds a particulei. Pentru mărimea medie a particulelor din moară, precum şi pentru un coeficient de viscozitate al fluidului purtător corespunzător temperaturilor medii din moară, conform [2], cifra Re_p este cuprinsă în domeniul:

$$2 < \mathrm{Re}_p < 10^5 \qquad (18)$$

$$\mathrm{Re}_p = \frac{d\cdot v_3}{\nu_g} \qquad (19)$$

Pentru acest domeniu va rezulta următoarea expresie a coeficientului de rezistenţă aerodinamică:

$$K = \pi\left(0{,}128 + \frac{12{,}8}{\mathrm{Re}_p}\right) \qquad (20)$$

Înlocuirea relaţiilor (19) şi (17) în (15) va conduce la relaţia:

$$\frac{\pi d^3}{6}\rho_c\frac{dv_3}{d\tau} = \pi\left(0{,}128 + \frac{12{,}8}{\mathrm{Re}_p}\right)\frac{\pi d^2}{4}\rho_g\frac{v_1^2}{2} \qquad (21)$$

Cu ρ_c şi ρ_g s-a notat densitatea specifică a prafului de combustibil şi, respectiv, a fluidului primar.

Pentru rezolvarea analitică s-a admis ipoteza lui Volkovinski, $\frac{d\bar{v}_3}{d\tau} = \frac{d\bar{v}_1}{d\tau}$, şi expresia variaţiei în timp a vitezei v_1 de forma [2]:

$$\frac{dv_1}{d\tau} = -(Av_1^2 + Bv_1) \qquad (22)$$

Înlocuind (22) în (21) şi exprimînd constanzele A şi B prin relaţiile:

$$A = 0{,}096\frac{\pi\rho_g}{d\rho_c} \qquad (23)$$

$$B = 9{,}6\frac{\pi\rho_g\nu_g}{d^2\rho_c}, \qquad (24)$$

parcursul particuelor de combustibil în lungul unei palete va fi:

$$x = -\int_{v_2}^{v_1} \frac{(v_2 - v_1)\,dv_1}{(Av_1 + B)v_1}, \qquad (25)$$

relație ce caracterizează lungimea de erodare în direcție axială și care, integrată, va conduce la:

$$x = \left| \left(\frac{v_2}{B} + \frac{1}{A} \right) \ln (Av_1 + B) - \frac{v_2}{B} \ln v_1 \right|_{v_2}^{v_1} \qquad (26)$$

Deoarece înainte de intrarea în rotorul morii-ventilator nu se găsesc palete de distribuție, agentul primar în zona de aspirație va schimba brusc direcția de curgere, din axială în radială ($\alpha_1 = 90°$). Rezultă că la intrare viteza absolută v_1 este perpendiculară pe viteza u_1, iar viteza relativă w_1 este egală cu v_1, dar de semn contrar.

Din punctul de vedere al fenomenului de măcinare, repartiția vitezelor în zona de intrare în palete conduce la un efect pozitiv prin mărirea gradului de lovire al particulelor de cărbune cu paletele rotorului. Mișcarea ulterioară a particulelor depinde de unghiul sub care sînt reflectate. Există posibilitatea ca particulele de cărbune să se lipească de paletă și să se macine prin frecare, sau să fie deviate spre paleta următoare, fenomenul repetîndu-se [1].

Prin ajungerea la carcasă a particulelor de cărbune apare o nouă tendință de măcinare, atît prin sfărîmarea produsă prin lovirea de blindaj, cît și prin frecare. Sfărîmarea apare la particulele mai mari, particule ce posedă o energie cinetică mai mare.

Pentru calculele de eroziune se poate admite o lovire a paletelor sub un unghi $\alpha = 90°$, iar prin înlocuirea în relațiile (12) și (13) se va obține succesiv (pentru cazul eroziunii provocate de către particulele de cărbune, s-a ales eroziune caracterizată prin $t = 2$, materialul nu a ajuns în stare de plastifiere) [2]:

$$A = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} 5\rho_c \frac{2{,}4^2 (1 + \mu_p)^2}{9\sigma_0^2} \cdot \frac{4E}{\pi(1 - \mu_p^2)} =$$

$$= 7{,}38 \frac{(1 + \mu_p)^2}{1 - \mu_p^2} \frac{E}{\sigma_0^2} \rho_c \left[\frac{1}{\text{m}} \right] \qquad (27)$$

$$I = 1{,}75\, A \sqrt[3]{\mu^2 \cdot \rho_c} f^3 v^3 d^2 \qquad \left[\frac{\text{kgm}}{\text{s}^3} \right] \qquad (28)$$

În relația (28) s-a înlocuit numărul de particule M, pentru ușurința calculelor, cu concentrația gravimetrică u a cenușii în fluidul de lucru.

Ecuația consumului de metal se va obține din ecuația (7), ducînd la determinarea timpului de eroziune după cum urmează:

$$I \cdot d\tau = g dm \qquad (29)$$

$$I \cdot d\tau = \psi \delta^* b \cdot \gamma_m\, dx \qquad (30)$$

În relația (30), b reprezintă lățimea paletelor morii, δ^* stratul de metal îndepărtat prin eroziune, iar ψ este un coeficient ce caracterizează neomogenitatea procesului de erodare a paletelor ($\psi < 1$). Dacă se adoptă mărimea δ^* admisă pentru păstrarea calităților de măcinare și ventilație a morii, ecuația (30) permite determinarea timpului τ de funcționare, după cum urmează:

$$\tau = \frac{\psi \delta^* b \gamma_m \int_{v_1}^{v_2} dx}{I} \quad [\text{s}] \qquad (31)$$

$$\tau = \frac{\psi \delta^* b \gamma_m \left[\left(\frac{v_2}{B} + \frac{1}{A} \right) \ln (Av_1 + B) - \frac{v_2}{B} \ln v_1 \right]_{v_2}^{v_1}}{12{,}915 \frac{(1 + \mu_p)^2}{1 - \mu_p^2} \cdot \frac{E}{\sigma_0^2} \rho_c \sqrt[3]{\mu^2 \rho_c} f^3 v^3 d^2} [\text{s}] \qquad (32)$$

Relația obținută arată o dependență a timpului de eroziune a paletelor direct proporțional cu parcursul x al particulelor de combustibil în lungul paletei și invers proporțional cu concentrația fazei solide la puterea 0,66, cu viteza la puterea a treia și cu diametrul particulelor la puterea a doua.

Calitatea materialului supus măcinării apare prin densitatea sa ρ_c, prin coeficientul t (care în relația 32 a fost considerat egal cu 2) și indirect prin dimensiunea particulelor de combustibil, d.

În continuare se va prezenta un exemplu de calcul pentru o moară-pilot de 200 kg/h, moară ce echipează focarul experimental pentru arderea combustibilului solid pulverizat de la Catedra de cazane și turbine din Institutul politehnic București.

Exemplu de calcul

În figura 6 se prezintă construcția rotorului morii-pilot de 200 kg/h.

Pentru turația de 5000 rot/min la care lucrează moara, va rezulta :

$$v_1 = \frac{\pi \cdot 0{,}215 \cdot 5000}{30} = 112{,}57 \text{ m/s};$$

$$v_2 = \frac{\pi \cdot 0{,}345 \cdot 5000}{30} = 180{,}64 \text{ m/s}$$

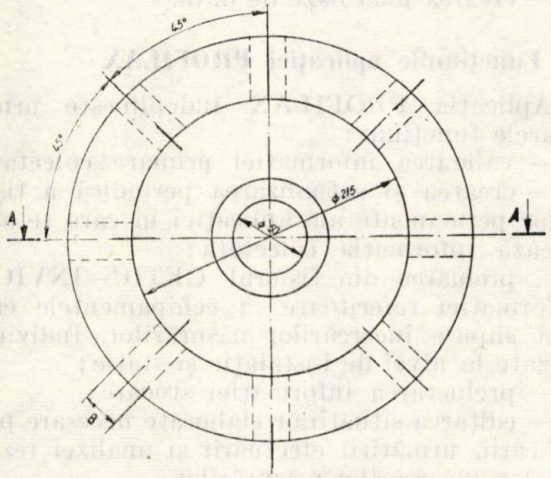


Fig. 6

Pentru o particulă medie de 200 μm și o temperatură de refulare de 140°C, pentru lignit, prin aplicarea relațiilor (23) și (24) se va obține $A = 1{,}5$ și $B = 18{,}84$.

Lungimea paletelor va fi :

$$L = \frac{d_2 - d_1}{2} = 65 \text{ mm} \qquad (33)$$

$$x = -\left[\left(\frac{180{,}64}{18{,}84} + \frac{1}{1{,}5}\right) \ln (1{,}5 \cdot 180{,}64 + 18{,}84) - \right.$$

$$- \frac{180{,}64}{18{,}84} \ln 180{,}64 - \left(\frac{180{,}64}{18{,}84} + \frac{1}{1{,}5}\right) \ln (1{,}5 \cdot 112{,}57 +$$

$$\left. + 18{,}84) - \frac{180{,}64}{18{,}84} \cdot \ln 112{,}57\right] = 0{,}081 \quad [\text{m}] \qquad (34)$$

Deoarece $x > L$, rezultă că traiectoria particulelor îmbracă toată lungimea paletei și deci, în calcul, pentru valoarea lui x se va introduce mărimea L.

În continuare se va aplica relația (32) pentru următoarele mărimi : $b = 5{,}7 \cdot 10^{-2}$ m ; $\gamma_m = 7{,}8 \cdot 10^3$ kgs/m² ; $\psi\delta^* = 0{,}9$ m ; $\mu_p = 0{,}3$; $E = 2{,}1 \cdot 10^{10}$ kg/m² ; $\sigma_0 = 7 \cdot 10^7$ kg/m² ; $\rho_c = 80$ kg/m³ ; $\mu = 0{,}3$ kg/m³ ; $f = 0{,}3$; $v = v_1 = 112{,}57$ m/s ; $d = 2 \cdot 10^{-4}$ m, rezultînd :

$$\tau = \frac{0{,}9 \cdot 5{,}7 \cdot 10^{-2} \cdot 7{,}8 \cdot 10^3 \cdot 0{,}065}{12{,}915 \dfrac{(1 + 0{,}3)^2}{1 - 0{,}3^2} \dfrac{2{,}1 \cdot 10^{10}}{49 \cdot 10^{14}} 80 \sqrt[3]{0{,}3^2 \cdot 80} \cdot 0{,}3^3 \cdot 112{,}57^3 \cdot 4 \cdot 10^{-8}} \qquad (35)$$

$$\tau \simeq 1000 \text{ [h]} \qquad (36)$$

Concluzii

Lucrarea a prezentat un model matematic pentru calculul timpului de fiabilitate al unei mori de tip ventilator, din punctul de vedere al fenomenului de eroziune.

S-a ales ca model de studiu moara-ventilator, deoarece acest tip de moară este cel mai frecvent folosit în schemele de preparare a prafului de combustibil, fie că este vorba de moara-ventilator simplă, fie de moara-ventilator cu ciocane. Modelul va trebui completat cu aspecte legate de abaterea formei particulei de la cea sferică, cu introducerea noțiunii de polidispersitate a prafului de combustibil solid. De asemenea, la instalațiile de măcinare cu recirculare de gaze calde de la finele focarului, va trebui să se țină seama și de prezența cenușii recirculate ca element de accelerare a eroziunii.

Experimentări viitoare vor trebui să determine valoarea ceeficientului ψ de neuniformitate a eroziunii în secțiune transversală, alături de verificarea globală a modelului matematic.

Expresia analitică obținută poate fi folosită la alegerea elementelor constructive, astfel încît să se țină seama de influența acestora asupra fenomenului de eroziune, încă de la faza de proiectare.

S-a considerat necesară introducerea unei aplicații numerice, atît pentru verificarea modelului matematic în sine, cît și pentru orientarea cititorului.

Bibliografie

[1] Cerny, V. *Măcinarea și uscarea cărbunilor*, Praga, 1969.

[2] Volkovinski, V., Rodatis, F. K. și Heralmov, A. A. *Melniți ventilatori*. Energhiia, Moscova, 1971.

[3] Mihăescu, L. și Mihăescu, T. *Metode rapide pentru calculul morilor cu ciocane și ventilator. Contribuții la determinarea capacității de uscare a cărbunilor*. În : Energetica, nr. 7, 1977.

[4] Pănoiu, N. ș.a. *Valorificarea prin ardere a combustibililor solizi inferiori*. Editura tehnică, București, 1978.

[5] Ris, V. F. *Ob ucete abrazivnovo pilevovo iznosa coles pri proektirovanii ițkm*. În : Energomașinostroenie, nr. 1, 1978.

[6] Makarov, N. V. *Rasciot erozionovo iznosa elementov energhiticeskovo oborudovaniia*. În : Energomașinostroenie, nr. 5, 1976.

(Articol intrat în redacție la 20 octombrie 1980)

Tratarea automată a informației referitoare la verificarea periodică a principalelor echipamente de IT și MT din rețelele electrice

Dr. ing. N. Chirculescu, ing. Gh. Ionașcu, ing. S. Mathe, ing. I. Iordache, ing. H. Constantinescu și matem. I. Stiger*)

1. Considerații generale

Verificarea periodică a echipamentelor de IT și MT din stațiile electrice de IT/MT, de conexiune sau de transformare, reprezintă o preocupare de bază a întreprinderilor de rețele electrice, iar aplicarea corectă și operativă a normativului PE 116/78 — conform căruia se efectuează încercările-măsurările (IM) profilactice — conduce la un volum foarte mare de date, care necesită a fi prelucrate în scopul luării de către conducerea întreprinderii a unor decizii referitoare la :

— posibilitatea repunerii imediate în funcțiune a instalațiilor ;

— necesitatea executării unor lucrări curente înainte de a se repune în funcțiune instalațiile ;

— necesitatea înlocuirii imediate a echipamentelor ale căror caracteristici sînt sub limitele admise ;

— necesitatea înlocuirii într-un viitor precizabil a unor instalații ale căror performanțe sînt sub limita admisă pentru funcționarea de durată ;

— necesitatea urmăririi comportării instalațiilor pe baza unor încercări și verificări executate la intervale de timp mai scurte decît cele prevăzute de normativul PE 116/78 sau cărțile tehnice ale echipamentelor.

Realizarea aplicației informatice pentru tratarea automată a informației referitoare la verificarea periodică a principalelor echipamente de IT și MT din rețelele electrice permite stocarea și prelucrarea automată a datelor privind rezultatele IM efectuate în timp (în fabrică, la punerea în funcțiune, în exploatare) asupra echipamentelor electrice din dotarea stațiilor de IT/MT.

2. Obiectivele aplicației PROFILAX

Aplicația PROFILAX a fost proiectată pentru realizarea următoarelor obiective :

— planificarea programării încercărilor-măsurărilor la termenele stabilite prin normativele în vigoare ;

— urmărirea efectuării încercărilor-măsurărilor planificate ;

— informarea organelor tehnice asupra echipamentelor care nu mai corespund în exploatare prin compararea valorilor rezultate ale încercărilor-măsurărilor cu valorile prevăzute în normativul PE 116/1978 ;

— urmărirea comportării în exploatare a echipamentelor electrice pe baza rezultatelor încercărilor-măsurărilor efectuate într-o perioadă de timp dată ;

— crearea unei baze de date.

3. Funcțiunile aplicației PROFILAX

Aplicația PROFILAX îndeplinește următoarele funcțiuni :

— validarea informației primare colectate ;

— crearea și actualizarea periodică a fișierelor permanente ale aplicației în care se stochează informația colectată ;

— preluarea din fișierul GETIC—INVIC a informației referitoare la echipamentele care sînt supuse încercărilor-măsurărilor, individualizate la nivel de instalație și stație ;

— prelucrarea informației stocate ;

— editarea situațiilor elaborate necesare planificării, urmăririi efectuării și analizei rezultatelor încercărilor-măsurărilor.

4. Domeniul de aplicare

Aplicația PROFILAX se integrează în sistemul informatic complex al întreprinderii de rețele electrice. Ea tratează informația referitoare la încercările-măsurările efectuate în stațiile electrice de IT/MT în conformitate cu PE 116/78 asupra următoarelor genuri de echipamente :

— transformatoare (autotransformatoare) de putere, inclusiv transformatoare de servicii interne ;
— transformatoare de măsură de tensiune ;
— transformatoare de măsură de curent ;
— întreruptoare ;
— separatoare ;
— bobine de reactanță ;
— bare colectoare ;
— bobine de stingere ;
— cabluri de energie ;
— baterii de acumulatoare ;
— instalații de punere la pămînt ;
— descărcătoare ;
— compensatoare sincrone ;
— baterii de condensatoare ;
— motoare electrice de c.a.

5. Date de intrare

Datele de intrare ale aplicației constau în informații primare proprii aplicației și informații primare colectate prin sistemul GETIC.

Conținutul informațiilor este :

— întreprinderea de rețele electrice ;
— secțiile și centrele din cadrul întreprinderii de rețele electrice ;
— stațiile electrice de transformare, conexiune din rețelele electrice de IT ;
— instalațiile aferente stațiilor electrice ;
— genurile de echipamente electrice pentru care se fac încercări-măsurări ;

*) Dr. ing. N. Chirculescu este director adj. tehnic la ISPE ; ing. Gh. Ionașcu este director adj. tehnic la IREB ; ing. ing. H. Constantinescu lucrează la IREB ; ing. S. Mathe, ing. I. Iordache și matem. I. Stiger lucrează la ISPE.

— tipurile caracteristice ale genurilor de echipamente;
— faza pe care se găsește echipamentul;
— amplasarea echipamentului;
— nr. de ordine al echipamentului în cadrul instalației;
— simbolul echipamentului;
— fabrica constructoare;
— seria de fabricație (an, număr);
— anul punerii în funcțiune;
— data și prilejul efectuării încercării-măsurării;
— formația de lucru care efectuează încercările-măsurările;
— starea vremii;
— starea solului;
— denumirea încercărilor-măsurărilor pe genuri de echipamente;
— rezultatele încercărilor-măsurărilor;
— criteriul de ordonare a genurilor de echipamente asupra cărora se efectuează încercările-măsurările.

6. Situații elaborate

În baza informației conținute în fișierele permanente ale aplicației și în funcție de cerințele beneficiarului, se pot obține situații elaborate de genul:

— situația încercărilor-măsurărilor neefectuate la echipamentele din stațiile de IT/MT în perioada: lună, trimestru, an;

— lista echipamentelor din stațiile de IT/MT care urmeanză a fi verificate în perioada: lună, trimestru, an;

— lista echipamentelor pentru care valorile măsurate în perioada: zi, lună, an — zi, lună, an nu sînt în limitele prevăzute în normativul PE 116/78;

— rezultatele încercărilor-măsurărilor efectuate în decursul timpului pe gen de echipament;

Exemple de situații elaborate sînt prezentate în continuare.

7. Organizarea de ansamblu a prelucrării

În vederea prelucrării automate a datelor, aplicația PROFILAX utilizează proceduri pentru:

a) crearea,
b) actualizarea,
c) exploatarea

fișierelor permanente ale aplicației.

a) Crearea fișierelor permanente. Se realizează:

— definirea și structurarea informației;

— validarea informației primare preluate din documentele primare și conversia acesteia într-o formă normalizată stabilită în raport cu structura bazei de date;

— prelucrarea selectivă a imaginilor cartelelor specifice fiecărui fișier; validarea informațiilor normalizate în funcție de descrierile valorilor acceptate, compatibilitățile stabilite, corecțiile prevăzute în fișierele de descriere a structurii, editarea erorilor.

b) Actualizarea fișierelor permanente:

— ordonarea informațiilor primare în funcție de structura fișierelor permanente și tipul operației de efectuat asupra informației primare; parcurgerea versiunilor „$n - 1$" ale fișierelor permanente, operarea modificărilor solicitate și obținerea versiunii n a fișierelor permanente; listarea fișierelor nou create, respectiv ale noilor realizări și a realizărilor cu modificări sau șterse; realizarea unei copii a fișierelor actualizate.

c) Exploatarea bazei de date în vederea editării de situații elaborate.

Prin exploatarea bazei de date se realizează programarea tipurilor de situații solicitate, parcurgerea fișierelor în ordinea editării situațiilor, efectuarea calculelor determinate de conținutul situațiilor, editarea situațiilor elaborate.

Informațiile necesare funcționării aplicației sînt stocate și prelucrate folosind atît fișierele proprii aplicației, cît și informații preluate din alte fișiere.

Fișierele aplicației sînt fișiere permanente (NORMATIV, PROGRAMARE, REZULTATE, GETICDEN) și temporare (ECHIP, BULETINE).

— Fișierul NORMATIV conține informații referitoare la listele încercărilor-măsurărilor (IM) pe genuri și tipuri de echipamente, periodicitățile la care se efectuează IM, valorile de comparație.

— Fișierul NORMATIVD conține informații referitoare la lista încercărilor-măsurărilor, periodicități, valori de comparație pe tipuri de descărcătoare.

— Fișierul PROGRAMARE conține informații referitoare la data efectuării ultimei IM, periodicitatea, data planificată pentru efectuarea următoarei IM și concluzia încadrării rezultatelor IM în valorile de normativ pentru fiecare echipament.

— Fișierul REZULTATE conține informații referitoare la rezultatele IM obținute în decursul timpului: în fabrică, la punerea în funcțiune, în exploatare.

— Fișierul GETIC-DEN conține denumiri: IM, ansambluri funcționale, instalații, echipamente.

— Fișierul ECHIP conține informații referitoare la echipamente individualizate la nivel de instalații și stații.

— Fișierul BULETINE conține imagini-cartele-buletine de IM.

Aplicația PROFILAX utilizează, pe lîngă informațiile preluate din fișierele proprii, informațiile din fișierul GETIC-INVIC — inventarul ansamblurilor funcționale, instalațiilor și echipamentelor.

Tratarea automată a informației referitoare la încercările-măsurările efectuate asupra echipamentelor electrice din stațiile de IT/MT se realizează în cadrul aplicației PROFILAX prin următoarele proceduri:

— Procedura PRODEN. Gestionarea fișierului GETICDEN, actualizarea cu articole referitoare la denumirile IM, editarea listei de coduri și denumiri IM.

— Procedura PRONORM. Gestionarea informației fișierelor principale NORMATIV și NORMATIVD referitoare la încercările-măsurările ce se efectuează la echipamentele electrice și valorile-limită prevăzute de PE 116/78. Editarea listei probelor pe tipuri de echipamente.

— Procedura PROGIM. Obținerea fișierului ECHIP (echipamente individualizate la nivel de instalație și stație), crearea versiunii „0" a fișierului PROGRAMARE, actualizarea fișierului PROGRAMARE cu informații referitoare la ultima IM, editarea situațiilor elaborate.

— Procedura PROREZ. Realizarea versiunii „0" și gestionarea informației fișierului principal REZULTATE referitoare la rezultatele IM efectuate (în fabrică, la PIF și în exploatarea curentă) asupra echipamentelor electrice din stațiile de IT/MT, editarea rezultatelor IM efectuate în decursul timpului pe gen de echipament.

8. Configurația necesară exploatării aplicației

Pentru exploatarea aplicației PROFILAX este necesar un calculator de tip Felix C—256 sau Felix C—512 (sistem de operare SIRIS III, varianta W-15) cu următoarea configurație minimă :

- memorie operativă 80 Ko
- lector de cartele
- imprimantă rapidă
- mașină de scris la consolă
- 1 unitate de discuri (MD sau AD)
- 2 unități de bandă magnetică (1600 B/i)

9. Necesarul de suporturi pentru informații

— 3 × 2 benzi magnetice pentru imagine disc PROFILAX (care conține pachetul de programe PROFILAX și fișierele GETICDEN, NORMATIV, NORMATIVD și pentru fișierele REZULTATE și PROGRAMARE;

— cartele perforate (în funcție de volumul echipamentelor supuse încercărilor-măsurărilor).

Concluzii

1. Aplicația permite colectarea, validarea, stocarea și prelucrarea unui volum mare de date referitoare la rezultatele încercărilor-măsurărilor care se efectuează asupra echipamentelor din dotarea întreprinderii de rețele electrice.

2. Exploatarea pachetului de programe al aplicației conduce la obținerea unor situații de tipul următor :

— lista încercărilor-măsurărilor neefectuate la echipamentele din stațiile de IT/MT într-o perioadă dată (situația PROFILAX—01);

— lista echipamentelor din stațiile de IT/MT care urmează a fi verificate într-o perioadă dată (situația PROFILAX-02);

— lista informațiilor conținute în fișierul PROGRAMARE (situația PROFILAX—03);

— lista echipamentelor pentru care valorile măsurate într-o perioadă dată nu sînt în limitele prevăzute în normativul PE 116/78 (situația PROFILAX—04);

— lista rezultatelor încercărilor-măsurărilor efectuate în decursul timpului pe gen de echipament (situația PROFILAX—05).

În listele anexate sînt prezentate echipamentele dintr-o stație electrică de IT/MT din dotarea întreprinderii de rețele electrice IRE București.

Echipamentele se identifică după codul denumirii stației, tensiunea, codul și numărul de ordine al instalației, din cadrul stației, codul, numărul de ordine, denumirea și seria echipamentului. Pentru încercările-măsurările aferente unui echipament se specifică data ultimei încercări-măsurări și data următoarei încercări-măsurări, conform periodicității prevăzute în PE 116/78.

De exemplu, în lista PROFILAX—02 pentru stația Buftea, în instalația cu tensiunea de 110 kV, cu codul 41 (celulă de linie), cu numărul de ordine 01, se prezintă planificarea încercărilor-măsurărilor ale echipamentului cu codul 30 și numărul de ordine 1 (TEMU — 110/0,1/0,1).

În lista PROFILAX—04 pentru stația Buftea, în instalația cu tensiunea de 110 kV, cu codul 51 (instalație de transformare), cu numărul de ordine 01, se prezintă încercările-măsurările echipamentului cu codul 40 și numărul de ordine 1 (transformator), care nu se încadrează în valorile maxime și minime prevăzute în normativ.

În capul de tabel al listei PROFILAX—04 sînt prezentate în coloanele notate cu R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7 maximum 7 rezultate necorespunzătoare aferente unei încercări-măsurări.

În listele PROFILAX—04, notațiile R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7 reprezintă valorile aferente unor puncte de măsurare. De exemplu, pentru încercarea-măsurarea cu codul PO1A (măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor la 15 secunde la transformatorul de putere), semnificația este următoarea :

R1 TS-masă (între înfășurarea cu tensiune superioară și masă)
R2 TM-masă
R3 TI-masă
R4 TS—TM
R5 TS—TI
R6 TM—TI

La încercarea-măsurarea cu codul 03A (măsurarea rezistenței ohmice a înfășurării de tensiune superioară), semnificația este următoarea :

R1 R—0 (între înfășurarea de pe faza R și nul)
R2 S—0
R3 T—0

3. Analiza rezultatelor încercărilor-măsurărilor permite urmărirea parametrilor tehnico-funcționali ai echipamentelor electrice din stațiile de IT/MT în vederea luării deciziilor/măsurilor pentru menținerea siguranței în exploatare a stațiilor electrice din dotarea întreprinderilor de rețele electrice.

(Articol intrat în redacție la 19 mai 1980)

CCE=ISPE

*PROFIL A%=02*PAU

LISTA ECHIPAMENTELOR DIN STATIILE DE IT/MT CARE URMEAZA A FI VERIFICATE IN PERIOADA 01.01.70-31.12.90

IDENTIFICATOR ECHIPAMEN	DENUMIRE ECHIPAMENT	COD I=M	TERMEN SCADENT	COD I=M	TERMEN SCADENT	COD I=M	TERMEN SCADENT	COD I=M	TERMEN SCADENT	COD I=M	TERMEN SCADENT	COD I=M
STATIA BFTEA	S.T. 110/20 KV BUFTEA										35-5-02	
CONEXIUNEA 1 DE 110 KV	INSTALATIA: 31	NR.ORD: 01			SIST.SIMPLU SECT. FARA BT							
BFTEA11013101122 00	SECTIA 1A		H01M 15.11.84									
CONEXIUNEA 1 DE 110 KV	INSTALATIA: 41	NR.ORD: 01			CHITILA 11							
BFTEA11014101301 00	TEMU * 110/0,1/0,1		U01D 15.11.81		U01E 15.11.81		U01F 15.11.81		U01G 15.11.81			
CONEXIUNEA 1 DE 110 KV	INSTALATIA: 41	NR.ORD: 02			CHITILA I							
BFTEA11014102301 00	TEMU * 110/0,1/0,1 SERIA: ********/**		U01D 15.11.81		U01E 15.11.81		U01F 15.11.81		U01G 15.11.81			
CONEXIUNEA 1 DE 110 KV	INSTALATIA: 42	NR.ORD: 03			TRAFO-2 * 25 MVA							
BFTEA11014203271 00	IUP * 110/1250/3000 SERIA: ********/**		I01H 15.11.81		I01I 15.11.81		I03D 15.11.81		I04A 15.11.81		I04B 15.11.81	
			I09A 15.11.81		I09B 15.11.81		I09C 15.11.81		I09D 15.11.81			
BFTEA11014203281 00	MM-4 SERIA: ********/**		I01J 15.11.81		I01K 15.11.81							
BFTEA11014203311 00	CESU * 110/2X150/5/5/5 SERIA: ********/**		C01D 15.08.81		C01E 15.08.81		C01F 15.08.81					
BFTEA11014203312 00	CESU * 110/2X150/5/5/5 SERIA: ********/**		C01D 15.08.81		C01E 15.08.81		C01F 15.08.81					
BFTEA11014203313 00	CESU * 110/2X150/5/5/5 SERIA: ********/**		C01D 15.08.81		C01E 15.08.81		C01F 15.08.81					
CONEXIUNEA 1 DE 110 KV	INSTALATIA: 42	NR.ORD: 04			TRAFO-1 * 25 MVA							
BFTEA11014204271 00	IUP * 110/1250/3000 SERIA: ********/**		I01H 15.11.81		I01I 15.11.81		I03D 15.11.81		I04A 15.11.81		I04B 15.11.81	
			I09A 15.11.81		I09B 15.11.81		I09C 15.11.81		I09D 15.11.81			
BFTEA11014204281 00	MM-4 SERIA: ********/**		I01J 15.11.81		I01K 15.11.81							
BFTEA11014204311 00	CESU * 110/2X150/5/5/5 SERIA: ********/**		C01D 15.09.81		C01E 15.09.81		C01F 15.09.81					
BFTEA11014204312 00	CESU * 110/2X150/5/5/5 SERIA: ********/**		C01D 15.09.81		C01E 15.09.81		C01F 15.09.81					
BFTEA11014204313 00	CESU * 110/2X150/5/5/5 SERIA: ********/**		C01D 15.09.81		C01E 15.09.81		C01F 15.09.81					
CONEXIUNEA 1 DE 110 KV	INSTALATIA: 51	NR.ORD: 01			T1							
BFTEA11015101401 00	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P01A 24.06.77		P01B 24.06.77		P01C 24.06.77		P03A 15.10.80		P03C 15.10.80	
			P04A 24.06.77		P04B 24.06.77		P04C 24.06.77		P04D 15.10.80		P04E 15.10.80	
			P04F 15.10.80		P04G 15.10.80		P04H 15.10.80		P04I 15.10.80		P05A 24.06.77	
			P05B 15.10.80		P05C 15.10.80							
BFTEA11015101401 01	TTUS-NS * 110/22, SERIA: ********/**		P03A 28.02.77		P03A 24.06.77		P03C 28.02.77		P03C 24.06.77			
BFTEA11015101401 02	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P03A 28.02.77		P03A 24.06.77							
BFTEA11015101401 03	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P03A 28.02.77		P03A 24.06.77							
BFTEA11015101401 04	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P03A 28.02.77		P03A 24.06.77							
BFTEA11015101401 05	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P03A 28.02.77		P03A 24.06.77							
BFTEA11015101401 06	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P03A 28.02.77		P03A 24.06.77							
BFTEA11015101401 07	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P03A 24.06.77									
BFTEA11015101401 08	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P03A 24.06.77									
BFTEA11015101401 09	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P03A 28.02.77		P03A 24.06.77							
BFTEA11015101401 10	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P03A 28.02.77		P03A 24.06.77							
BFTEA11015101401 11	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P03A 28.02.77		P03A 24.06.77							
BFTEA11015101401 12	TTUS-NS * 110/22 SERIA: ********/**		P03A 24.06.77									

LISTA ECHIPAMENTELOR PENTRU CARE VALORILE MASURATE IN PERIOADA 01.01.70-01.01.90
NU SINT IN LIMITELE PREVAZUTE IN NORMATIVUL PE 116/78

INTREPRINDEREA: 35
SECTIA : 5
CENTRUL : 02

IDENTIFICATOR ECHIPAMENT	COD IM	UNITATE MASURA	VALOARE NORMATIV MAXIMA	VALOARE NORMATIV MINIMA	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
BFTEA									S.T. 110/20 KV BUFTEA		
CONEXIUNEA 1 DE 110 KV BFTEA1101510140100		INSTALATIA 51 NR.ORD: 01				T2					
	P01B	MOHM	1000.0000	0.0000	2668.000	0.000	1840.000	0.000	1288.000	0.000	0.000
	P01B	MOHM	1000.0000	0.0000	4500.000	0.000	3000.000	0.000	7500.000	0.000	0.000
	P01C		1.2000	0.0000	1.500	0.000	1.530	0.000	1.660	0.000	0.000
	P05A	KV/CM	160.0000	0.0000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	0.000	0.000
	P05A	KV/CM	160.0000	0.0000	200.000	200.000	210.000	200.000	210.000	0.000	0.000
CONEXIUNEA 1 DE 110 KV BFTEA1101510240100		INSTALATIA 51 NR.ORD: 02				T2					
	P01B	MOHM	1000.0000	0.0000	3375.000	0.000	1800.000	0.000	1575.000	0.000	0.000
	P01B	MOHM	1000.0000	0.0000	7500.000	0.000	4500.000	0.000	12000.000	0.000	0.000
	P01C		1.2000	0.0000	1.500	0.000	1.600	0.000	1.470	0.000	0.000
	P01C		1.2000	0.0000	1.660	0.000	1.500	0.000	1.600	0.000	0.000
	P05A	KV/CM	160.0000	0.0000	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000	0.000	0.000
	P05A	KV/CM	160.0000	0.0000	220.000	220.000	220.000	220.000	200.000	0.000	0.000
BFTEA1101510240105	P03A	OHM	0.0000	2.0000	1.162	1.166	1.166	11.400	0.000	0.000	0.000
BFTEA1101510240115	P03A	OHM	0.0000	2.0000	1.078	1.078	1.078	9.620	0.000	0.000	0.000
BFTEA1101510240118	P03A	OHM	0.0000	2.0000	1.241	1.243	1.238	9.620	0.000	0.000	0.000
CRNLS									S.T. 110/20 KV CIORNULEASA		
CONEXIUNEA 1 DE 020 KV CRNLS02013101122 00	H08A	INSTALATIA 31 NR.ORD: 01 KV	0.0000	50.0000	70.000	SRFA-204 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CONEXIUNEA 1 DE 020 KV CRNLS02014107271 00	I01H	INSTALATIA 41 NR.ORD: 07 MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	CIORNULEASA 1 9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I01I	MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I05D	KV/CM	60.0000	0.0000	100.000	700.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CRNLS02014107281 00	I01K	MOHM	1.0000	0.0000	0.000	3000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CONEXIUNEA 1 DE 020 KV CRNLS02014108271 00	I01H	INSTALATIA 41 NR.ORD: 08 MOHM	1000.0000	0.0000	0.000	CIORNULEASA 2 9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I01I	MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I05D	KV/CM	60.0000	0.0000	100.000	700.000	500.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CRNLS02014108281 00	I01K	MOHM	1.0000	0.0000	0.000	1000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CONEXIUNEA 1 DE 020 KV CRNLS02014109271 00	I01H	INSTALATIA 41 NR.ORD: 09 MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	CIORNULEASA 3 9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I01H	MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I01I	MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I01I	MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I05D	KV/CM	60.0000	0.0000	100.000	700.000	500.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I05D	KV/CM	60.0000	0.0000	100.000	800.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CRNLS02014109281 00	I01K	MOHM	1.0000	0.0000	0.000	1000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I01K	MOHM	1.0000	0.0000	0.000	2000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CONEXIUNEA 1 DE 020 KV CRNLS02014113271 00	I01H	INSTALATIA 41 NR.ORD: 13 MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	LUPTATORI 9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I01I	MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I05D	KV/CM	60.0000	0.0000	100.000	700.000	500.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CONEXIUNEA 1 DE 020 KV CRNLS02014202271 00	I01H	INSTALATIA 42 NR.ORD: 02 MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	TR II 9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I01I	MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I05D	KV/CM	60.0000	0.0000	100.000	800.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CRNLS02014202281 00	I01K	MOHM	1.0000	0.0000	0.000	3000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CONEXIUNEA 1 DE 020 KV CRNLS02014206271 00	I01H	INSTALATIA 42 NR.ORD: 06 MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	TR I 9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I01H	MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I01I	MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I01I	MOHM	1000.0000	0.0000	9000.000	9000.000	9000.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I05D	KV/CM	60.0000	0.0000	100.000	700.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	I05D	KV/CM	60.0000	0.0000	100.000	800.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CRNLS02014206281 00	I01K	MOHM	1.0000	0.0000	0.000	3000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Model și program pentru calculul regimului optim de funcționare zilnică a centralelor hidroelectrice cu lacuri mari de acumulare

Ing. **Al. Blada**
Ing. **D. Săndulache**
Matem. **Gh. Apetrei** *)

În ansamblul problemelor de gospodărire complexă a cursurilor de apă, problema determinării regimurilor optime de funcționare pentru amenajările hidroelectrice cu lacuri mari de acumulare, are o importanță deosebită în folosirea rațională a resurselor hidroenergetice.

Strategia care se impune în conducerea lunară/zilnică a amenajărilor hidroelectrice cu lacuri mari de acumulare este de a se obține o cantitate de energie electrică dată pe un interval de timp (de obicei lună, sau mai mic decît o lună), cu o cantitate de apă minimă destocată din lacul echivalent România, în condițiile în care să fie satisfăcute toate cerințele privind atît încadrarea în sistem a energiei hidro produse cît și tehnologia centralelor și a amenajărilor în ansamblu.

1. Formularea modelului matematic

1.1 *Funcția-obiectiv a optimizării*

Minimizarea cantității totale de apă turbinată pe întregul interval de calcul, din lacul echivalent România, pentru producerea unei cantități impuse de energie electrică, de totalul amenjărilor hidroenergetice care intră în compunerea acestui lac :

$$QIT = \underset{E(I,K,J)}{MIN}\left(\sum_{I=1}^{M}\sum_{K=1}^{KC(I)}\sum_{J=1}^{NS} Q(I,K,J)\right), \quad (1)$$

în care

M este numărul de amenajări din lacul echivalent ;

KC — numărul de centrale mari care compun fiecare amenajare ;

$NS = JF - JI + 1$ — lungimea intervalului de calcul funcție de JI (data de început) și JF (data de sfîrșit).

1.2. *Restricții impuse optimizării*

A) Nivelurile în lacuri nu au voie în nici un moment să fie mai mari decît $HMAX(I, K)$ și mai mici decît $HMIN(I, K)$:

$$HMIN(I,K) \leqslant HAM(I,K,J) \leqslant HMAX(I,K) \quad (2)$$

B) La sfîrșitul lunii (sfîrșitul perioadei de calcul) trebuie ca raportul între rezerva utilă a fiecărui lac și volumul util total al lacului să tindă spre o aceeași valoare din rezerva normală optimă a lacului a lunii respective, indiferent care era situația inițială :

$$\frac{R(I,K,JF)}{RU(I,K)} \rightarrow \frac{CR.\ RO(I,K,L)}{1}\ ;$$

$$\forall I, K, RI(I,K) \quad (3)$$

$$RU(I,K) = RMAX(I,K) - RMIN(I,K)$$

Prin rezervă normală optimă $RO(I, K, L)$ se înțelege volumul de apă din lac corespunzător lunii L, de pe traiectoria optimă anuală $HAMO(I, K, L)$.

C) Energia produsă de fiecare amenajare în luna L nu poate să depășească anumite limite maxime și minime impuse pentru amenajarea și luna respectivă :

$$EIMIN(I,L) \leqslant EIL(I,L) \leqslant EIMAX(I,L), \quad (4)$$

în care

$$EIL(I,L) = \sum_{J=1}^{NZL} EI(I,J),$$

NZL fiind numărul de zile al lunii de calcul.

D) Energia produsă de totalul amenajărilor pe întregul interval de calcul să fie egală cu valoarea impusă :

$$\sum_{I=1}^{M}\sum_{J=1}^{NS} EI(I,J) = EIT \quad (5)$$

E) Energia zilnică produsă de fiecare amenajare să nu depășească anumite limite date (diferite pentru zilele de lucru față de cele de sărbătoare) din energia medie zilnică a hidroamenajării pe intervalul de calcul :

$$\frac{CMIN(J)\cdot EIC(I)}{NS} \leqslant EI(I,J) \leqslant$$

$$\leqslant \frac{CMAX(J)\cdot EIC(I)}{NS} \quad (6)$$

*) Ing. Al. Blada este cercetător științific principal în cadrul Secției de automatizări și mașini electrice din ICEMENERG ; ing. D. Săndulache este inginer principal la DEN ; matem. Gh. Apetrei este analist principal în cadrul Oficiului de calcul din ICEMENERG.

în care

$$EIC(I) = \sum_{J=1}^{NS} EI(I, J)$$

$CMIN(J) = CMINZL$; $CMAX(J) =$

$= CMAXZL$ — pentru zile de lucru;

$CMIN(J) = CMINZS$; $CMAX(J) =$

$= CMAXZS$ — pentru zile de sărbătoare.

F) Energia EIT produsă de totalul amenajărilor hidroenergetice se repartizează în cadrul lunii potrivit unui grafic zilnic dat prin coeficienţii de pondere $CEZI(J)$:

$$EIA(J) = \frac{CEZI(J)}{\sum_{j=1}^{NS} CEZI(J)} \cdot EIT \qquad (7)$$

G) În mod normal energia zilnică a fiecărei centrale mari este produsă pe trei paliere de putere:

$$P(I, K. J) = \sum_{NI=1}^{3} P(NI, I, K, J) \cdot CT(NI) \cdot O(I, K, J), \qquad (8)$$

în care

$CT(NI)$ sînt duratele de funcţionare, date pe fiecare palier de putere.

$O(I, K, J) =$

$= \sum_{NI=1}^{3} O(NI, I, K, J)$ — numărul total al orelor de funcţionare al centralei în ziua J;

$P(NI, I, K, J)$ — puterea optimă a centralei (I, K) pe palierul de putere NI, la căderea netă medie din ziua J.

Cele trei paliere de putere se stabilesc astfel:

— Palierul 1. Se consideră în funcţiune toate grupurile disponibile din centrală.

— Palierul 2. Se consideră în funcţiune toate grupurile disponibile minus 1.

— Palierul 3. Se consideră în funcţiune toate grupurile disponibile minus 2.

În toate situaţiile în care pentru un palier de putere numărul grupurilor în funcţiune rezultă mai mic decît 1, se calculează puterea corespunzătoare unui grup în funcţiune.

Atunci cînd energia cerută este prea mare, sau numărul de grupuri disponibile prea mic, şi rezultă:

$$O(I, K, J) > 24,$$

modul de repartizare a timpului de funcţionare pe paliere de putere descris mai sus nu se mai respectă:

Durata palierului 1 este mărită pînă la 24 ore şi, dacă nici acest lucru nu este suficient, puterea palierului 1 este mărită peste puterea optimă, pînă la puterea maximă $PMAX(I, K, J)$ corespunzătoare numărului total de grupuri disponibile şi căderii nete din ziua J.

H) Debitul turbinabil al unui grup nu poate depăşi anumite limite:

$$0{,}6 \cdot DMAX(I, K, KI) \leqslant D(I, K, KI, J) \leqslant DMAX(I, K, KI) \qquad (9)$$

1.3. *Ecuaţiile de stare*

A) Ecuaţiile de bilanţ ale lacurilor:

$$R(I, K, J) = R(I, K, J-1) + Q(I, K-1, J) + QAF(I, K, J) - Q(I, K, J) \qquad (10)$$

B) Ecuaţiile de nivel ale lacurilor în regim staţionar:

$$HAM(I, K) = F(R(I, K)) \qquad (11)$$

C) Ecuaţiile randamentelor grupurilor în funcţie de căderea netă şi debitul turbinat:

$$ETA(I, K, K1) = F(H(I, K), D(I, K, K1)) \qquad (12)$$

Ecuaţiile (11) şi (12) nu pot fi exprimate sub formă analitică. Ele sînt introduse prin puncte şi valorile se calculează prin interpolare.

D) Ecuaţiile căderii nete:

$$H(I, K, J) = HAM(I, K, J) - HAVST(I, K, J) - SAV(I, K) \cdot DT(I, K, J) - SCH(I, K) \cdot (DT(I, K, J))^2, \qquad (13)$$

în care

$$DT(I, K, J) = \sum_{K1=1}^{KG(I)} D(I, K, K1, J)$$

E) Ecuaţiile puterii:

$$P(I, K, K1, J) = 9{,}81 \cdot H(I, K, J) \cdot D(I, K, K1, J) \cdot ETA(I, K, K1, J) \qquad (14)$$

F) Ecuaţiile debitului maxim turbinabil funcţie de căderea netă:

— pentru $H(I, K, J) \leqslant HC(I, K, J)$

$$DMAX(I, K, K1, J) = CDMOI(I, K, K1) + CDM1I(I, K, K1) \cdot H(I, K, J)$$

— pentru $H(I, K, J) > HC(I, K, J)$

$$DMAX(I, K, K1, J) = CDMOS(I\,K, K1) - CDM1S(I, K, K1) \cdot H(I, K, J) \quad (15)$$

1.4. *Tipul amenajărilor hidroenergetice*

În compunerea modelului de optimizare s-au luat în considerație următoarele tipuri de amenajări hidro, prin care se acoperă toate amenajările existente, în construcție sau proiectate în momentul de față.

— Amenajări de tip Bistrița, formate dintr-un lac mare, o centrală de cădere mare echipată cu două tipuri de grupuri și o cascadă aval.

— Amenajări de tip Argeș, formate dintr-un lac mare, o centrală de cădere mare echipată cu un singur tip de grupuri și o cascadă aval.

— Amenajări de tip Sebeș, formate din două lacuri mari, amplasate în cascadă, fiecare centrală echipată cu un singur tip de grupuri, urmate de o cascadă aval.

— Amenajări de tip Cerna-Motru-Tismana, formate din două lacuri mari în derivație, o centrală mare de cădere mare alimentată dintr-unul din lacuri, o centrală mare de cădere mare alimentată comun din ambele lacuri, urmată de o cascadă aval.

Acolo unde este cazul (de exemplu amenajările Cerna—Motru—Tismana și Rîul Mare—Retezat) tipul standard respectiv poate fi completat cu lacuri mici și/sau cu centrale de mică putere al căror regim optim de funcționare se consideră impus de regimul optim al lacurilor și/sau centralelor mai mari cu care sînt asociate.

2. Descrierea metodei și a algoritmului de calcul

2.1. *Metoda de calcul*

Problema de optimizare formulată prin modelul matematic de mai sus este o problemă de programare neliniară, de căutare a unei strategii optime pentru un număr foarte mare de variabile de comandă $E(I, K, J)$, în prezența unui număr foarte mare de restricții de egalitate și inegalitate, atît liniare cît și neliniare, pentru un sistem care nu poate fi descris prin ecuații exprimate sub formă analitică. Singurele metode calculabile petru astfel de probleme sînt programarea dinamică și căutarea iterativă directă a extremului, fără calculul derivatei.

Deoarece funcția-obiectiv este convexă în raport cu variabilele de comandă pe domeniul definit de restricțiile impuse modelului, iar numărul și varietatea acestor restricții sînt deosebit de mari, s-a optat pentru metoda căutării iterative directe, care reclamă un consum de memorie mai redus. Timpul de calcul s-a păstrat în limite rezonabile (10—25 minute).

2.2 *Algoritmul de calcul* (fig. 1)

După citirea și prelucrarea datelor de intrare, secvență care cuprinde și o actualizare a valorilor restricțiilor de energie cu caracter general la intervalul de calcul dat, urmează calculul valorii medii prognozate a debitului afluent pentru acest interval.

Plecînd de la valoarea optimă a stocului de apă disponibil pentru intervalul dat al fiecărui lac, potrivit traiectoriei optime la sfîrșitul intervalului:

$$QI(I, K) = RI(I, K) - RO(I, K) + QAF(I, K) \quad (16)$$

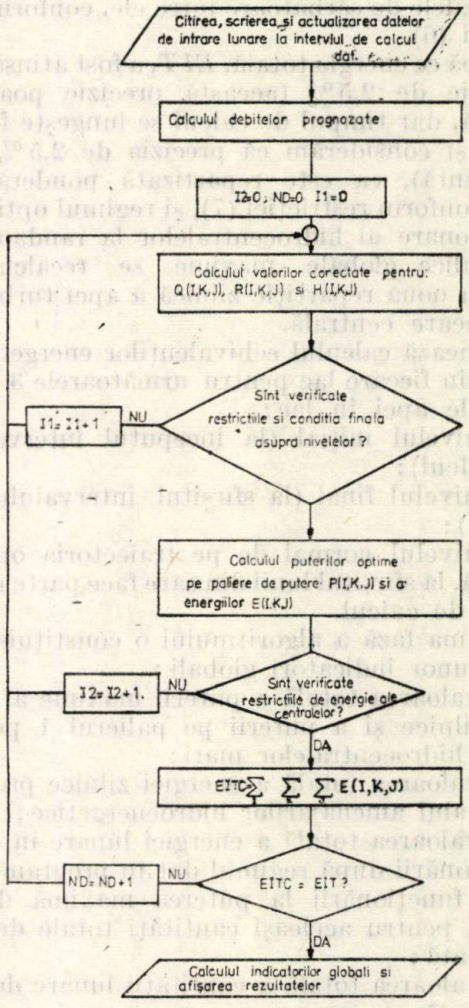


Fig. 1

se calculează energia optimă pe care ar putea-o produce lacul echivalent România în ipoteza că ar fi obligatorie atingerea la sfîrșitul intervalului a nivelurilor normale pe traiectoria optimă anuală.

În funcție de raportul acestei energii față de energia impusă, EIT, și de raportul valorii energiei produse de fiecare amenajare față de $EIMAX(I)$ și $EIMIN(I)$, se stabilește politica de turbinare a fiecărei centrale și a fiecărui lac.

În continuare, conform politicii de turbinare, se variază iterativ cantitatea de apă turbinată din fiecare lac, astfel încît energia totală

produsă din cantitatea de apă turbinată să fie maximă și să tindă spre valoarea EIT, nivelurile finale în fiecare lac să tindă spre valoarea dată de (3) și toate celelalte restricții din subcapitolul (1.2) să fie satisfăcute.

În cursul acestui proces iterativ, apa uzinată zilnic de fiecare centrală este astfel turbinată, încît randamentul hidraulic global să fie maxim, iar energia să fie produsă divizat pe cele trei paliere de putere, conform restricției (8). Apa este împărțită egal pe zilele de lucru între ele și pe zilele de sărbătoare între ele, conform restricției (6).

După ce energia totală, EIT, a fost atinsă cu o precizie de 2,5% (această precizie poate fi mărită, dar timpul de calcul se lungește foarte mult și considerăm că precizia de 2,5% este suficientă), ea este repartizată ponderat pe zile, conform restricției (7), și regimul optim de funcționare al hidrocentralelor la randamente hidraulice globale maxime se recalculează pentru noua repartiție zilnică a apei turbinate de fiecare centrală.

Urmează calculul echivalenților energetici ai apei din fiecare lac pentru următoarele 3 niveluri ale apei în lac:

— nivelul inițial (la începutul intervalului de calcul);

— nivelul final (la sfîrșitul intervalului de calcul);

— nivelul normal de pe traiectoria optimă anuală, la sfîrșitul lunii din care face parte intervalul de calcul.

Ultima fază a algoritmului o constituie calculul unor indicatori globali:

— valoarea totală a puterii maxime a energiei zilnice și a puterii pe palierul 1 pentru suma hidrocentralelor mari;

— valoarea totală a energiei zilnice produse de totalul amenajărilor hidroenergetice;

— valoarea totală a energiei lunare în cazul funcționării după regimul dat în program și în cazul funcționării la puterea maximă disponibilă, pentru aceleași cantități totale de apă turbinată;

— valoarea totală a cantității lunare de apă turbinată.

Programul se încheie cu afișarea sub formă de tabele a rezultatelor organizate pe amenajări, lacuri și centrale mari;

— debitul afluent mediu în fiecare lac, prognozat pe perioada de calcul;

— echivalenții energetici ai apei din lacuri pentru cele trei niveluri menționate mai sus: inițial, final și normal;

— nivelurile în lacuri la sfîrșitul fiecărei zile;

— cantitățile de apă zilnice turbinate din fiecare lac;

— energiile zilnice produse de fiecare amenajare și fiecare centrală mare;

— puterile și numărul de ore de funcționare pentru fiecare centrală, zi și palier de putere;

— energia lunară produsă de fiecare centrală în cazul funcționării la puterea maximă disponibilă.

Pentru lacul echivalent România sînt afișate următoarele rezultate, de asemenea sub formă de tabel:

— cantitatea de apă turbinată pe întregul interval de calcul;

— energiile zilnice produse de totalul amenajărilor hidroenergetice și de totalul hidrocentralelor mari la funcționarea în regim optim;

— puterile maxime zilnice totale;

— puterile zilnice totale pe palierul 1 de funcționare: funcționarea la randament global optim cu toate grupurile disponibile;

— energiile lunare produse de totalul amenajărilor hidroenergetice și de totalul centralelor mari la funcționarea în regim optim;

— energia lunară produsă de totalul centralelor mari la funcționarea în regim de putere maximă.

2.2.1. *Introducerea și pregătirea datelor de intrare.* Datele de intrare au fost împărțite în două mari categorii:

— date de intrare generale;

— date de intrare curente.

Toate datele de intrare, atît cele generale cît și cele curente, pot fi modificate ori de cîte ori este nevoie, prin modificarea cartelelor de date respective.

Fiecare cartelă conține:

— date comune, valabile indiferent de amenajare, sau

— date de același nume, specifice unei singure amenajări.

a) *Datele de intrare generale* se referă la caracteristicile tehnice constructive hidrologice ale lacurilor și centralelor principale și la producția globală de energie a cascadelor aval, în funcție de producția de energie a centralei cu lac care alimentează cascada aval.

— Structura amenajărilor: M, $KL(I)$, $KC(I)$, $KG(I)$. Este definită prin numărul și denumirea amenajărilor, a lacurilor și a centralelor principale care compun fiecare amenajare și prin numărul de tipuri de grupuri cu care este echipată fiecare centrală a fiecărei amenajări.

S-a ales dimensiunea maximă 2 pentru $KL(I)$, $KC(I)$ și $KG(I)$, ceea ce satisface practic toate amenajările existente.

Producția de energie a cascadei aval este definită prin coeficientul de aport mediu lunar al fiecărei amenajări: $CAV(I, L)$

$$CAV(I, L) = \frac{ECAV(I, L)}{E(I, K, L)},$$

în care

$E(I, K, L)$ este producția de energie a centralei K care alimentează cascada

aval a amenajării I, pentru luna L.

$ECAV(I, L)$ — producția de energie a cascadei amenajării I în luna L.

Valorile $E(I, K, L)$ și $ECAV(I, K, L)$ pentru amenajările în funcțiune au fost obținute prin prelucrarea statistică a producțiilor realizate de la punerea în funcțiune a cascadei.

Prelucrarea a constat în medierea valorilor realizate, eliminarea valorilor cu abateri de peste $\pm 50\%$ față de medie și medierea valorilor rămase.

— Traiectoria optimă anuală: $HAMO(I, K, L)$ reprezintă nivelurile optime conform graficelor-dispecer, calculate prin programul de optimizare anuală, la care ar trebui să se găsească lacurile la sfîrșitul fiecărei luni.

— Date care servesc la calculul căderii nete: $HAVST(I, K, J)$; $SAV(I, K)$; $SCH(I, K)$.

S-a considerat o variație după un polinom de gradul 2, a căderii nete $H(I, K, J)$, în funcție de debitul total turbinat al centralei.

— Date care servesc la calculul debitului maxim turbinabil funcție de căderea netă: $CDMOI(I, K)$; $CDM1I(I, K)$; $CDMOS(I, K)$; $CDMIS(I, K)$; $HC(I, K, J)$.

S-a considerat o variație dublu liniară a debitului maxim $DMAX(I, K, J)$ al fiecărui tip de grup (J) al fiecărei centrale (K) în funcție de căderea netă. Punctul de maxim al intersecției celor două drepte are loc la o valoare a căderii numită cădere de calcul, $HC(I, K, J)$.

— Restricțiile de niveluri: $HMAX(I, K)$; $HMIN(I, K)$.

Drept $HMAX(I, K)$ s-a luat valoarea nivelului normal de retenție al lacului.

Drept $HMIN(I, K)$ s-a luat valoarea nivelului minim de exploatare energetică al lacului.

— Producția de energie medie anuală a centralelor: $EMA(I, K)$.

S-au luat valorile date de proiectant.

Coeficienții energiilor lunare maxime și minime: $CEMIN(I, K, L)$; $CEMAX(I, K, L)$. Servesc la calculul restricțiilor maxime de energie în care trebuie să se încadreze energia produsă de fiecare amenajare în perioada de calcul dată a lunii L:

$$EIMIN(I) = \sum_{K=1}^{KC(I)} (CEMIN(I, K, L) \cdot EMA(I, K)) + CEMIN(I, KC(I), L) \cdot EMA(I, KC(I)). CAV(I, L)$$

$$EIMAX(I) = \sum_{K=1}^{KC(I)} (CEMAX(I, K, L) \cdot EMA(I, K)) + CEMAX(I, KC(I), L) \cdot EMA(I, KC(I)) \cdot CAV(I, L)$$

În cazul în care numărul de zile al perioadei de calcul NS este diferit (mai mic) decît numărul de zile NZL al lunii L:

$$EIMIN(I) = EIMIN(I) \frac{NS}{NZL}$$

$$EIMAX(I) = EIMAX(I) \frac{NS}{NZL}$$

Prin alegerea potrivită a acestor coeficienți se poate ține seama de servituțile de debit din aval.

— Ecuațiile nivelurilor și rezervelor reprezintă relația între nivelul și volumul apei în fiecare lac:

$$F: HAM(I, K) \rightarrow R(I, K)$$

exprimată prin 13 puncte aproximativ echidistante, cuprinse între $HMIN(I, K)$ și $HMAX(I, K)$.

Pentru valori intermediare, programul calculează prin interpolare.

— Ecuațiile randamentelor reprezintă funcția de 2 variabile:

$$ETA(I, K, J) = F(D(I, K, J), H(I, K)),$$

care exprimă relația între randamentul unui grup, debitul turbinat și căderea netă pe centrală.

Este exprimată pentru 5 valori ale debitului, cuprinse între $DMAX(I, K, J)$ și $0{,}6 \cdot DMAX(I, K, J)$, și 5 valori ale căderii nete, deci în total 25 de valori.

Pentru valori intermediare ale debitului și căderii nete, valoarea randamentului se calculează în program printr-o dublă interpolare.

— Caracteristicile hidrologice multianuale ale bazinelor lacurilor servesc la calculul prognozei debitului afluent și sînt următoarele:

— debitele medii lunare multianuale;

— luna de început a topirii zăpezii cu frecvența de producere cea mai mare;

— numărul de luni cît a durat topirea zăpezii, cu frecvența de producere cea mai mare;

— coeficienții de corelație între debitele lunare.

Valorile acestor mărimi au fost calculate prin prelucrarea statistică a șirului debitelor lunare realizate, pentru bazinul fiecărui lac, pe o perioadă de 30—50 de ani în urmă.

b) *Datele de intrare curente* se referă la definirea perioadei de calcul, situația lacurilor și centralelor în această perioadă și cerințele specifice impuse pentu perioada de calcul dată.

Ele se completează de utilizatorul programului cu ocazia fiecărei rulări.

— Date care definesc intervalul de calcul:

— luna în care se află situat intervalul de calcul: L;

— datele de început și sfîrșit ale intervalului în cadrul lunii : JI ; JF ;

— datele zilelor de sărbătoare din cadrul intervalului de calcul : $JS(7)$. (Într-o lună pot exista 7 zile de sărbătoare.)

— Restricțiile impuse producției de energie

— energia hidro totală ce trebuie produsă de amenajări în perioada de calcul : EIT ;

— coeficienții de repartizare ponderată a energiei totale pe zilele lunii : $CEZI(J)$;

— limitele minime și maxime în care trebuie să se încadreze producția zilnică de energie a fiecărei centrale, în zilele de lucru și de sărbătoare, față de media zilnică a energiei totale produsă pe centrală pe intervalul de calcul : $CMINZL$; $CMAXZL$; $CMINZS$; $CMAXZS$;

— duratele de funcționare a fiecărei centrale pe cele trei paliere de putere, exprimate sub formă de raport față de durata totală de funcționare a centralei în ziua respectivă : $CT(3)$. Cele trei paliere de putere sînt definite astfel :

— Palierul 1. Toate grupurile disponibile în funcțiune :

— Palierul 2. Toate grupurile disponibile în funcțiune mai puțin 1 grup.

— Palierul 3. Toate grupurile disponibile în funcțiune mai puțin 2 grupuri.

Atunci cînd pentru oricare dintre palierele de mai sus numărul de grupuri în funcțiune rezultă zero, se consideră un grup în funcțiune.

— Situația lacurilor și centralelor în perioada de calcul :

— nivelurile inițiale în lacuri : $HI(I, K)$. Reprezintă nivelurile în lacuri la începutul primei zile a intervalului de calcul ;

— numărul de grupuri planificate a fi disponibile în fiecare centrală și în fiecare zi a intervalului de calcul : $NGRDIS(I, K, J)$.

— Date privitoare la debitele afluente din anul respectiv :

Aceste date împreună cu caracteristicile hidrologice multianuale ale bazinelor servesc la calculul prognozei afluentului natural în lac pe intervalul de calcul. Ele sînt următoarele :

— Afluentul prognozat din topirea zăpezilor obținut printr-un calcul separat, pe baza prelucrării măsurătorilor stratului de zăpadă. Cuprinde : luna cînd se prognozează că va începe topirea zăpezii, durata prognozată a topirii, afluentul prognozat din topirea zăpezii în fiecare lună a perioadei de topire. În cazul în care nu se dispune pentru unul sau mai multe lacuri de o prognoză a topirii zăpezii, aceste date se completează cu blancuri și programul va alege automat valorile acestor mărimi realizate în hidrologia multianuală a bazinului respectiv.

— Debitele afluente medii lunare realizate în fiecare lac de la începutul anului pînă la data corespunzătoare începutului intervalului de calcul, inclusiv pe luna în curs, în cazul în care începutul intervalului de calcul este altul decît prima zi a lunii.

— Debitele afluente prognozate din exterior pentru intervalul de calcul. Aceasta este o facilitate opțională a utilizatorului programului, atunci cînd el consideră că dispune de valori prognozate ale debitului afluent cu o probabilitate mai bună de realizare decît cele calculate de program.

În mod normal, cînd se lucrează cu prognoza făcută de program, acest valori se completează blanc.

2.2.2. *Calculul debitului afluent prognozat* se face utilizînd o metodă de corelații multiple între debitul mediu multianual al lunii de calcul și debitele realizate în anul hidrologic respectiv.

Anul hidrologic începe în prima lună de topire a zăpezilor.

Coeficienții de corelație $ALFA(L)$ au fost stabiliți prin prelucrare statistică, pe baza încercării mai multor metode de corelare a debitelor afluente lunare realizate în ultimii 30—50 ani pentru fiecare lac de acumulare : $DR(I, L)$.

I = indicele de an care variază de la 1 la NA (30—50).

L = indicele de lună.

Modelul 1 de corelare

$$ALFA(L) = \frac{1}{NA} \cdot \sum_{I=1}^{NA} \frac{L \cdot DR(I, L)}{\sum_{J=1}^{L} DR(I, J)}$$

Modelul 2 de corelare

$$ALFA(L) = \frac{1}{NA} \cdot \sum_{I=1}^{NA} \frac{4 \cdot (L-2) \cdot (DR(I, L)}{\sum_{J=1}^{L-2} DR(I, J) + (L-2) \cdot (DR(I, L-1) + 2 \cdot DR(I, L))}$$

Modelul 3 de corelare

$$ALFA(L) = \frac{1}{NA} \cdot \sum_{I=1}^{NA} \frac{3 \cdot (L-2) \cdot DR(I, L)}{\sum_{J=1}^{L-2} DR(I, J) + (L-2) \cdot (DR(I, L-1) + DR(I, L))}$$

Modelul 4 de corelare

$$ALFA(L) = \frac{1}{NA} \cdot \sum_{I=1}^{NA} \frac{DR(I, L) \cdot \sum_{j=1}^{L} (J)}{L \cdot DR(I, L) + \sum_{j=1}^{L-1} (J \cdot DR(I, J))}$$

În urma verificării făcute cu fiecare model de corelare, comparînd debitele lunare calculate prin prognoză cu debitele măsurate realizate, abaterea statistică cea mai mică s-a obținut cu coeficienții de corelare din modelul 3.

Relația între eroarea maximă procentuală a debitului prognozat față de cel măsurat și frecvența de apariție în % a acestei erori este dată în tabelul de mai jos pentru lacul Izvorul Muntelui ($NA = 36$ ani).

Eroare maximă	%	8	10	12	14	16	18	20	22
Frecvență de apariție	%	43	35	29	23	17	13	8	4

Pentru celelalte lacuri, valorile sînt foarte apropiate de cele din tabelul de mai sus.

Acești coeficienți au fost introduși ca date de intrare în programul de calcul al disponibilităților de energie hidro lunare și ei servesc la calculul debitelor afluente prognozate ale fiecărui lac cu o relație de forma (modelul 3 de corelație):

$$DP(L)=\frac{ALFA(L)}{(L-2)(3-ALFA(L))}\left(\sum_{j=1}^{L-2} DR(J)+\right.$$

$$+(L-2)\cdot DR(L-1) \qquad (17)$$

în care $DR(J)$ este debitul mediu lunar afluent măsurat de la începutul anului hidrologic în curs.

Pentru lunile de topire a zăpezilor, debitul afluent prognozat este cel dat de prognoza obținută prin măsurarea stratului de zăpadă.

În lipsa acestei prognoze, debitul afluent se calculează ca medie a debitelor multianuale realizate în anii precedenți, în luna respectivă.

2.2.3. *Politica de turbinare a apei din lacuri.* Turbinînd cantitatea de apă lunară $QI(I, K)$ dată de relația (16), se pot obține mai multe situații caracteristice, în funcție de energiile respective obținute pentru fiecare amenajare în parte și pe total lac România și de încadrarea acestora în restricțiile impuse.

Pentru fiecare dintre aceste situații caracteristice se poziționează într-un anumit fel indicatorii $IRES1(I, K)$; $IRES2(I)$; $IRES3(I)$ și $IRZ(I, K)$, stabilindu-se în acest fel politica de turbinare.

Principalele situații caracteristice care pot apărea sînt următoarele:

I. Stiuații privind energiile produse de fiecare amenajare în parte:

A. Energia lunară a unei amenajări este mai mică decît $EIMIN(I)$:

Se crește $QI(I, K)$ progresiv pînă se obține $EIMIN(I)$.

A.1. Dacă în timpul creșterii lui $QI(I, K)$ se atinge $RMIN(I, K)$, se blochează creșterea lui $QI(I, K)$ pentru lacul respectiv.

B. Energia lunară a unei amenajări este mai mare decît $EIMAX(I)$:

Se scade $QI(I, K)$ progresiv pînă se atinge $EIMAX(I)$.

B.1. Dacă în timpul scăderii lui $QI(I, K)$ se atinge $RMAX(I, K)$, se blochează scăderea lui $QI(I, K)$ pentru lacul respectiv.

C. Energia lunară a unei amenajări este cuprinsă între $EIMIN(I)$ și $EIMAX(I)$.

II. Situații privind energia hidro totală a lacului echivalent România:

D. Energia lunară totală produsă este mai mică decît energia impusă EIT:

Pentru lacurile aflate în situația A și C, cantitatea de apă $QI(I, K)$ se crește progresiv plecînd de la valorile $QI(I, K)$ reținute anterior.

Pentru lacurile aflate în situația A.1, B.1 și B, cantitatea de apă $QI(I, K)$ rămîne neschimbată.

E. Energia lunară totală produsă este mai mare decît energia impusă EIT.

Pentru lacurile aflate în situația A, A.1 și B.1, cantitatea de apă $QI(I, K)$ rămîne neschimbată.

Pentru lacurile aflate în situația B și C, cantitatea de apă $QI(I, K)$ se scade progresiv plecînd de la valorile $QI(I, K)$, reținute anterior.

Variația (scăderea, respectiv creșterea) progresivă a cantității de apă $QI(I,K)$ de la o iterație la alta se face simultan pentru toate lacurile care nu sînt blocate, cu o rată de creștere $CR(I, K)$ proprie, în funcție de situația nivelului fiecărui lac, astfel încît lacurile să tindă să se apropie cît mai mult posibil de nivelul final impus prin restricția (3).

Atunci cînd, pe parcursul iterațiilor, se atinge una din restricțiile specifice amenajărilor sau lacurilor/centralelor, variația cantității de apă turbinată $QI(I, K)$ respective este blocată.

Procesul iterativ se oprește cînd valoarea EIT este atinsă cu precizia dorită.

2.2.4. *Calculul regimului optim de funcționare a centralelor hidroelectrice.* În cadrul fiecărei iterații cantitatea totală de apă $QI(I, K)$ a fiecărui lac este împărțită pe zilele de lucru și sărbătoare ale intervalului de calcul, conform restricției (6): $Q(I, K, J)$.

Pentru ziua J se calculează nivelul mediu în lac al zilei J, prin aplicarea ecuațiilor de bilanț ale lacului de la începutul intervalului de calcul: $HAM(I, K, J)$.

Pentru fiecare tip de amenajare, cu ajutorul unor proceduri de calcul specifice încorporate programului, se calculează debitul turbinat la

care se obține randamentul hidraulic global maxim pentru $HAM(I, K, J)$ respectiv.

Se verifică încadrarea valorii optime alese a debitului turbinat în limitele minime și maxime admise.

Limita maximă a debitului se calculează în funcție de căderea netă a centralei, în acel moment.

La calculul căderii nete a puterii se ia în considerație influența pierderilor de sarcină pe circuitul hidraulic și variația nivelului în camera de expansiune în funcție de debit, conform ecuațiilor (13) și (14).

Dată fiind lipsa unei forme analitice a legăturii între randamentul hidroagregatului, debit și căderea netă, se aplică și în acest caz o procedură de căutare a maximului fără calculul derivatei.

În cadrul acestor proceduri se calculează numărul de ore de funcționare pe fiecare palier de putere, astfel încît să se asigure turbinarea cantității de apă $Q(I, K, J)$ la debitele optime, pe cele trei paliere de putere, precum și puterile pe aceste paliere, puterea maximă disponibilă și energiile electrice produse de centrale și de amenajarea hidroenergetică în ansamblu.

3. Rezultate numerice

Programul a fost realizat și testat în două variante :

1. Pentru cele 4 cascade care există în prezent ;

2. Pentru toate cele 7 cascade care vor exista la nivelul anului 1985.

Varianța cu 4 cascade a fost catalogată în biblioteca de programe a Dispecerului energetic național și se află în exploatare de la sfîșitul anului 1978. Din rezultatele obținute se pot trage cîteva concluzii :

— În cazul funcționării integrale la regimul optim al centralelor de mare cădere calculat în program, pentru cele 4 hidroamenajări aflate în prezent în exploatare se poate obține un spor de energie lunară de 5—10 GWh (1—2%), turbinînd aceeași cantitate de apă, dar funcționînd cu o putere la orele de vîrf mai mică cu 200—300 MW față de puterea maximă disponibilă.

În cazul respectării parțiale, pe anumite perioade de timp ale zilei, a regimului optim calculat, energia suplimentară obținută va fi proporțional mai redusă.

— Indiferent de modul de respectare a regimului zilnic optim, programul ameliorează șansele respectării nivelurilor optime lunare pentru toate lacurile, fapt care poate conduce la importante producții suplimentare de energie.

— Programul este format dintr-un program principal și 8 subrutine

Pentru economie de memorie, programul a fost segmentat în 7 segmente. Lungimea ramurii celei mai mari este de 77 kocteți ;

— Timpul de execuție a programului este de 10—15 minute pentru 4 amenajări și de 20—25 minute pentru 7 amenajări.

(Articol intrat în redacție la 7 mai 1980

Surse și tehnologii noi în energetică

Aspecte tehnico-economice ale centralelor solaroelectrice cu ciclu termodinamic de înaltă temperatură

Ing. C. Popescu
Ing. M. M. Dăncilă
Ing. V. Vărzaru*)

În [1] au fost prezentate o serie de aspecte privitoare la concepția centralelor solaroelectrice cu ciclu termodinamic de înaltă temperatură, cu scopul de a releva problemele majore implicate de realizarea efectivă a unor asemenea obiective energetice.

Evaluarea posibilităților de implementare a energeticii solare în cadrul unui sistem energetic se bazează în mare măsură pe criterii economice care, cel puțin pînă în momentul de față, iau în considerare elemente clasice de calcul, cum sînt : cheltuielile de investiție și costul energiei furnizate. Aceste elemente se află într-o strînsă dependență de prețul resurselor energetice clasice.

Planificarea energetică, în general, ține seama de trei parametri ce influențează luarea deciziilor : stadiul și evoluția probabilă a tehnologiilor implicate, rentabilitatea investiției și impactul asupra mediului înconjurător. În ultimul timp, datorită caracterului limitat al resurselor energetice clasice, se manifestă tot mai pregnant tendința de introducere a unor elemente noi de decizie în aprecierea aspectelor economice ale noilor obiective energetice — așa cum este, de exemplu, investiția energetică sau consumul cumulat de energie pentru obiectivul analizat.

Scopul acestei lucrări este de a prezenta unele elemente ce trebuie avute în vedere la luarea deciziilor pentru realizarea unor centrale solaroelectrice cu ciclu termodinamic de înaltă temperatură.

1. Investiția specifică

Principalul obiectiv economic al sistemelor de producere a energiei electrice este de a realiza instalații cu investiții specifice cît mai mici, care să asigure, totodată, un preț scăzut al energiei electrice produse.

Deoarece investiția crește proporțional cu puterea 2/3 a capacității instalate [2], tendința este de a se merge pe linia realizării de unități termoenergetice clasice cu puteri unitare mari, de parametri ridicați, care pot asigura randamente mari la investiții specifice reduse.

În cazul centralelor solaroelectrice, aplicabilitatea acestui concept este limitată din două motive principale. În primul rînd, puterile unitare ale centralelor solare sînt limitate, după cum s-a arătat anterior, la circa 10 MW_e pentru zonele temperate ale globului și la circa

*) Ing. Constantin Popescu este șeful Secției energetică generală, industrială și surse noi de energie din ICEMENERG ; ing. Marius M. Dăncilă și ing. Victor Vărzaru sînt cercetători științifici principali la ICEMENERG.

100 MW_e pentru zonele tropicale și ecuatoriale. În al doilea rînd, partea principală a investiției unei centrale solare o constituie cîmpul de oglinzi captatoare (circa 60—70%), al cărui cost de investiție este direct proporțional cu numărul heliostatelor. Astfel, efectul de scară menționat pentru cazul centralelor termoelectrice se aplică numai receptorului termic și construcțiilor aferente, sistemului de acumulare și sistemului de conversie termodinamică.

Pentru conceptul centralelor solaroelectrice cu captatoare parabolice distribuite, dat fiind caracterul prin excelență modular al acestora, investiția este practic proporțională cu capacitatea instalată.

Din motivele arătate se poate trage concluzia că pentru centralele solaroelectrice reducerea investițiilor se va obține în primul rînd prin reducerea costului componentelor, ca urmare a producției de mare serie a acestora [2].

În figura 1 se ilustrează reducerea costului heliostatelor, odată cu creșterea producției de serie în S.U.A. [3].

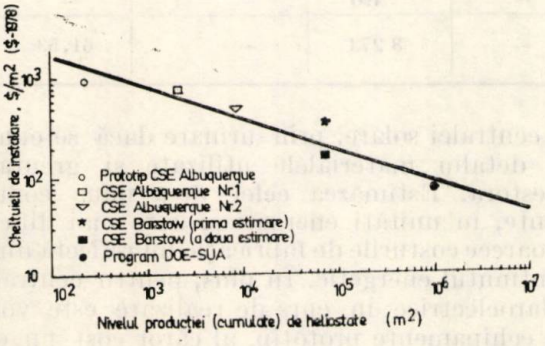


Fig. 1. Scăderea costului heliostatelor cu creșterea nivelului de producție în serie al acestora [3].

În figura 2 se prezintă mărimea investițiilor specifice calculate pentru diferite concepte de conversie termodinamică a energiei solare, funcție de puterea nominală a instalațiilor. În această figură, partea superioară a zonei hașurate (b) se referă la instalații de medie temperatură cu captatoare cilindro-parabolice (focalizare liniară), iar partea inferioară la instalații cu captatoare parabolice distribuite (focalizare punctuală). Curba *a* din figură privește centralele solare cu heliostate și turn.

Din figură rezultă că la puteri de circa 2 MW_e curbele se aplatizează, investiția specifică avînd o variație foarte lentă cu puterea nominală instalată. Se constată de asemenea că centralele solare cu concentrare liniară și concentrare punctuală sînt mai avantajoase economic pentru puteri mici, sub 500 kW_e.

Astfel, pentru puteri mici, cuprinse între 10 și 15 kW_e (circa 50—250 kW_t), centralele solaroelectrice cu captatoare cilindro-parabolice, cu focalizare liniară sau punctuală, prezintă valori de investiții specifice cuprinse între 4500 și 4700 \$/kW_e, care scad la circa 2500 \$/kW_e la puteri peste 1 MW_e.

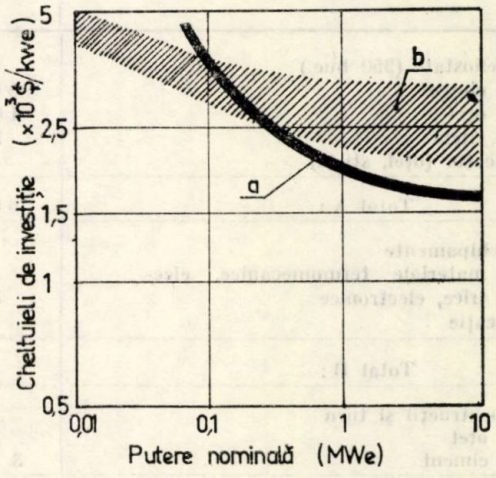


Fig. 2. Investiția specifică funcție de puterea nominală, [4] (în \$ — 1978)

a — centrale solare cu heliostate și turn; *b* — centrale solare cu captatoare cilindro-parabolice (focalizare liniară), partea superioară a zonei hașurate;; centrale solare cu captatoare parabolice distribuite (focalizare punctuală). partea inferioară a zonei hașurate.

La același nivel mic de putere, centralele solaroelectrice cu turn ajung la investiții specifice de ordinul 7500 \$/kW_e, fiind probabil mult mai mari pentru instalațiile prototip. Investițiile specifice scad la 1500—1800 \$/kW_e pentru puteri peste 2 MW_e.

Aceste considerente, precum și cele expuse anterior, referitor la posibilitățile de experimentare la scară reală a principalelor echipamente, au condus la alegerea nivelului de putere de minimum 500 kW_e (circa 2200 kW_t) pentru centralele solaroelectrice pilot experimental aflate în curs de execuție în diferite țări ([1], tabelul 1).

Merită să fie subliniată poziția favorabilă ocupată, și sub aspectul investițiilor specifice, de către centralele solare cu captatoare parabolice distribuite. Investiția specifică a acestora este mai mare, însă foarte apropiată de cea a centralelor cu heliostate și turn, pentru puteri peste 500 kW_e (partea inferioară a zonei hașurate din fig. 2). Aceasta se datorește costului mai mare al captatoarelor parabolice față de heliostate [2]. Pe de altă parte, datorită randamentului mai ridicat al acestor centrale, pentru grade de concentrare mari și anumite concepte de realizare [1], producția de energie electrică, la puteri echivalente, este mai mare decît a centralelor solare cu heliostate și turn, ceea ce conduce la un cost mai scăzut al kilowattului-oră produs [2].

Se poate afirma că un ansamblu de centrale solaroelectrice cu captatoare distribuite, cu puteri mici — de ordinul a 500 kW_e —, repre-

Tabelul 1

Consumuri de energie la realizarea unei centrale solaroelectrice cu o putere de 2MW$_e$

Componența consumului	Consum de materiale [5]	Consum de energie cumulat, specific [6]	Energie înglobată, total	Durata de viață [5]	Consum anual de energie [5], [6]
	tone	t c.c./tonă	t c.c.	ani	t c.c./an
A. Heliostate (350 buc.)					
— ciment	5 600	0,200	1 120	100	2,26
— oțel	1 015	1,576	1 600	33	35,40
— sticlă	210	1,120	235	20	8,46
Fabricație (oțel, sticlă)	—	—	1 835	—	—
Total A :	6 825	—	4 790	—	46,12
B. Echipamente					
— materiale termomecanice, electrice, electronice	350	3,000	1 050	33	12,20
Fabricație	—	—	1 050	—	—
Total B :	350	—	1 050	—	12,20
C. Construcții și turn					
— oțel	170	1,576	268	100	1,95
— ciment	3 125	0,200	625	100	1,26
Total C :	3 295	—	893	—	3,21
D. Construcții-montaj, transporturi (10 % din A+B+C, exclusiv fabricația)	—	—	490	—	—
Total general :	10 470	—	8 273	—	61,53

zintă o soluție interesantă din punct de vedere energetic, atît sub aspectul investiției specifice cît și al costului energiei produse. În plus, trebuie subliniat și faptul că, în cazul centralelor solaroelectrice, a căror producție este supusă fluctuațiilor meteorologice locale, dispersarea unităților de producție pe amplasamente diferite mărește gradul lor de disponibilitate în alimentarea cu energie a sistemului la care sînt conectate [2].

2. Investiția energetică

Ca orice alt obiectiv energetic, o centrală solaroelectrică presupune o investiție energetică inițială care poate fi evaluată. Această investiție constă din trei componente :

— conținutul energetic al materialelor utilizate pentru realizarea fizică a obiectivului (de exemplu ciment, oțel, sticlă, materiale electrice, mecanice etc.) ;

— conținutul energetic înglobat în procesele de fabricație a echipamentelor (de exemplu heliostate, echipament electric și electronic, echipamente termomecanice etc.) ;

— conținutul energetic aferent lucrărilor de construcții-montaj ale ansamblului centralei, inclusiv consumurile aferente transporturilor și amenajărilor.

Prima componentă este relativ ușor de evaluat dacă se dispune de proiectul de execuție al centralei solare, prin urmare dacă se cunosc în detaliu materialele utilizate și greutatea acestora. Estimarea celei de-a doua componente, în unități energetice, este mai dificilă, deoarece costurile de fabricație nu reflectă direct conținutul energetic. În plus, pentru centralele solaroelectrice în curs de realizare este vorba de echipamente prototip, al căror cost nu este reprezentativ (conține și componente aferente cheltuielilor de cercetare-dezvoltare și încercări de laborator). Din acest motiv, pentru estimări preliminare, conținutul energetic aferent proceselor de fabricație se apreciază a fi egal cu conținutul energetic al materialelor utilizate [5]. Consumurile de energie corespunzătoare lucrărilor de construcții-montaj, inclusiv transporturi și amenajarea terenului, se estimează la circa 10 % din totalul energiei înglobate în materialele utilizate [5].

Avînd în vedere cele de mai sus, în tabelul 1 sînt calculate consumurile înglobate la realizarea unei centrale solaroelectrice de 2 MW$_e$. Cantitățile de materiale utilizate sînt cele citate în proiectul centralei solaroelectrice THEMIS, fără considerarea sistemului de acumulare [5].

Pentru consumurile specifice, cumulate, de energie, s-au folosit date evaluate în [6]. Acestea conțin și consumurile de energie transmise prin uzura mijloacelor fixe de producție, inclusiv cele utilizate în procesele de extracție și prelucrare a materialelor respective, astfel

încît ele sînt mai mari decît cele prezentate în [5].

În tabelul 1 se citează şi duratele de viaţă apreciate pentru diferitele ansambluri componente, precum şi consumurile de energie anuale necesare pentru menţinerea în funcţiune a acestora [5].

Cunoscînd că pentru centrala solară menţionată, amplasată în sudul Franţei, producţia de energie specifică este de 0,232 $MWh/m^2 \cdot an^{-1}$ (suprafaţă activă), iar suprafaţa activă este de 17 640 m^2, ţinînd seama de consumul anual de energie menţionat în tabelul 1, rezultă o durată efectivă de recuperare energetică de 6,3 ani.

Durata de recuperare energetică se defineşte ca fiind timpul necesar compensării — din producţia brută de energie a centralei — atît a consumului înglobat cumulat de resurse energetice pentru realizarea fizică a obiectivului, cît şi a consumului direct (tehnologic) cumulat de energie, necesar menţinerii în funcţionare a obiectivului.

Producţia brută de energie se determină ţinînd seama de parametrii nominali ai centralei solaroelectrice, cît şi de regimurile concrete de funcţionare a acesteia în intervalul de timp considerat.

În cazul amplasării în ţara noastră a unei centrale solare asemănătoare, producţia de energie specifică va fi mai mică, în raport cu duratele efective de strălucire a soarelui (2450 ore/an pe amplasamente în Dobrogea, faţă de circa 2750 ore/an pe amplasamente în sudul Franţei). Astfel, în primă aproximaţie, pentru condiţiile ţării noastre, durata efectivă de recuperare energetică ar fi de circa 7,2 ani.

Din cele expuse rezultă că, din punctul de vedere al valorificării resurselor energetice, investiţia în centrale solaroelectrice cu ciclu termodinamic de înaltă temperatură este rentabilă.

3. Costul energiei electrice produse

Centralele solaroelectrice în curs de realizare în diferite ţări sînt în general instalaţii prototip, motiv pentru care eforturile economice implicate apar ca fiind extrem de importante. Costul kilowattului instalat în centrala franceză THEMIS — la rîndul ei o instalaţie prototip — se ridică la circa 11 000 $, pentru un factor de disponibilitate al centralei de 25 %, ceea ce conduce la 0,45—0,65 $/kWh. Asemenea valori ridicate se explică prin următoarele :

— realizarea la nivel de prototip sau în serie mică a elementelor componente şi subansamblurilor centralei ;

— aparatură de măsură şi control la nivelul cerinţelor de cercetare a primelor instalaţii de acest tip ;

— caracterul de noutate tehnologică pentru industria ce furnizează elementele componente şi subansamblurile centralei.

Acest din urmă aspect nu se referă numai la sistemul de captatoare (heliostate), la receptorul termic sau sistemul de acumulare, ce comportă elemente cu totul noi şi deosebite, ci chiar şi la ansamblul grupului turbogenerator, în mare măsură de concepţie clasică, dar a cărui putere şi parametri nu sînt uzuali industriei.

Realizarea efectivă a centralelor solaroelectrice, ca de altfel şi a altor sisteme solare, va trebui să comporte eforturi însemnate în sensul reducerii costurilor specifice. Acest lucru implică două etape distincte :

— O primă etapă strîns legată de dezvoltarea instalaţiilor prototip, care va consta, în esenţă, dintr-o perioadă caracterizată prin intensificarea activităţilor de cercetare a soluţiilor avantajoase din punctul de vedere al cantităţilor de materie primă necesară, al manoperei şi al conţinutului energetic pentru realizarea fiecărui subansamblu sau element component. Centralele prototip vor reprezenta bancul de încercare la scară naturală ce va permite experimentarea soluţiilor destinate să amelioreze continuu raportul dintre performanţe şi costuri.

— Cea de-a doua etapă se va caracteriza printr-o dinamică accentuată a reducerii costurilor, la nivel de instalaţii industriale, concomitent cu proliferarea obiectivelor.

Cele de mai sus nu fac altceva decît să confirme corelaţia ce există între costurile de fabricaţie şi producţia cumulată a unor echipamente. Reducerea costurilor de fabricaţie este un rezultat al producţiei de serie, al dezvoltării tehnologice în domeniu, al utilizării de noi materiale şi automatizării producţiei. Această corelaţie se poate exprima printr-o relaţie liniară pe o diagramă logaritmică, asemănătoare celei prezentate în figura 1.

Cu titlu informativ se prezintă tabelul 2, prelucrat de autori pe baza datelor din [7], cu observaţia că pentru cazul unei centrale solare amplasate în Dobrogea au fost operate corecţii asupra valorilor corespunzătoare însoleierii. Rata de actualizare a fost considerată ca fiind de 10 %, iar durata de amortizare a investiţiei de 20 ani.

Din datele recente privind tehnologiile alternative de producere a energiei electrice, rezultă că preţul de cost al energiei nucleare este de 0,039 $/kWh, în cazul centralelor termoelectrice pe cărbune — 0,051 $/kWh, iar al centralelor Diesel sau cu consum de hidrocarburi (în special petrol) — 0,091 $/kWh, la preţurile anului 1980 [8]. Energia pe bază de ţiţei este deci de 2,33 ori mai scumpă decît cea produsă în centralele nucleare. Întrucît toate prognozele energetice prevăd o creştere şi în viitor a preţului ţiţeiului, este de aşteptat ca şi în viitor

Tabelul 2

Costuri specifice şi preţul de cost al energiei electrice produse, pentru centrale solaro-electrice de înaltă temperatură

		Prototip THEMIS (anul 1981)	Centrală 10 MW în Franţa (anul 2000)	Centrală 10 MW în Dobrogea (anul 2000)
Preţul captatoarelor raportat la suprafaţa de captare	[$/m^2]	400	60—66	70—75
Preţul receptorului termic şi al turnului central raportat la suprafaţa de captare	[$/m^2]	120	18—40	20—45
Costul amenajării terenului raportat la suprafaţa de captare	[$/m^2]	40	10—20	12—23
Preţul sistemului de acumulare raportat la kWh_t acumulat	[$/$kWh_t$]	40	6—15	7—17
Preţul maşinii termice, raportat la kW_{nom}	[$/$kW_{nom}$]	800	200—375	225—420
Preţul kilowattului instalat	[$/$kW_i$]	9250—11000	925—1600	1050—1800
Cheltuieli de exploatare şi întreţinere	[$/kWh]	0,11	0,022	0,025
Costul energiei electrice produse	[$/kWh]	0,45—0,65	0,06—0,09	0,07—0,10

cea mai scumpă energie electrică să fie cea obţinută pe bază de produse petroliere. Acesta este şi motivul pentru care problema competitivităţii energiei electrice produse în centrale solaroelectrice, în raport cu cea produsă cu tehnologiile clasice, trebuie privită prin prisma viitorului.

4. Ocuparea terenului

Productivitatea energetică a centralelor solare cu concentrare depinde, în principal, aşa după cum s-a precizat anterior, de numărul efectiv de ore de strălucire a soarelui şi de randamentul global de conversie în energie electrică al radiaţiei directe incidente.

Această productivitate se raportează, de regulă, fie la suprafaţa activă a cîmpului de oglinzi, fie la suprafaţa totală de teren ocupat de centrală.

Astfel, pentru centrala THEMIS, de 2 MW_e, rezultă 0,232 $MWh/m^2 \cdot an^{-1}$, respectiv 0,0584 $MWh/m^2_{total} \cdot an^{-1}$ — suprafaţa total ocupată fiind de 3,96 ori mai mare decît suprafaţa activă [9].

Din analiza datelor comparative referitoare la diferite amenajări hidroenergetice [5], se constată că, sub aspectul ocupării terenului, centralele solaroelectrice sînt similare centralelor hidroelectrice, dacă se ţine seama de suprafeţele ocupate de acumulările de apă. Desigur că analogia este valabilă în cazul în care centralele solaroelectrice se amplasează în zone aride, improprii culturilor agricole sau altor utilizări mai avantajoase ale terenului.

Din studii recente [9] se constată că mărirea puterii centralei THEMIS de la 2 la 10 MW_e va conduce la creşterea energiei specifice anuale cu circa 33%, respectiv la atingerea valorii de 0,308 $MWh/m^2_{activ} \cdot an^{-1}$. Aceasta se obţine ca urmare a creşterii randamentului global prin micşorarea ponderii principalelor pierderi ale cazanului (prin radiaţie şi convecţie). În proporţie corespunzătoare va scădea şi costul energiei produse.

Pentru a fixa ideile şi a obţine o imagine de ansamblu privitoare la un program de realizare de centrale solaroelectrice în ţara noastră, cu puteri unitare de 10 MW_e, vom face ipoteza că producţia anuală specifică de energie va fi mai mică, în raportul duratelor efective de strălucire a soarelui, iar suprafaţa totală de teren ocupat mai mare, în raportul latitudinilor amplasamentelor (45° latitudine în R.S.R., faţă de 42° latitudine în sudul Franţei). Astfel, în primă aproximaţie, rezultă o valoare a energiei specifice de circa 0,274 $MWh/m^2_{activ} \cdot an^{-1}$ şi un raport $S_{tot}/S_{activ} = 4{,}24$.

Pentru o producţie de energie electrică de $80 \cdot 10^6$ MWh/an (valoare apropiată de producţia actuală de energie electrică a ţării noastre), rezultă o suprafaţă activă de oglinzi de circa 29 200 ha (292 km^2), respectiv o suprafaţă totală de teren ocupat de 1238 km^2, ceea ce ar reprezenta circa 0,52% din teritoriul ţării.

În urma unui calcul de detaliu, care ar ţine seama şi de condiţiile de insolaţie specifică, mai reduse în ţara noastră decît în sudul Franţei, cifrele privitoare la ocuparea terenului se vor majora, probabil, cu circa 15—20%.

Desigur, tehnologiile de valorificare a potenţialului energiei solare, în particular tehnologiile de realizare a conversiei termodinamice sînt, în prezent, departe de maturitate şi necompetitive, din punct de vedere economic, cu soluţiile clasice de producere a energiei electrice la scară industrială. Există însă convingerea că potenţialul enorm al resursei solare, precum şi caracterul nepoluant al acesteia justifică eforturile întreprinse în domeniul cercetării şi dezvoltării pentru promovarea acestor noi tehnologii de conversie.

Concluzii

Principalele date cu caracter economic (investiţia specifică, costul energiei produse, producţia specifică de energie electrică, suprafeţele de teren ocupat, valorile randamentelor medii anuale etc...) se bazează, în prezent, numai

pe studii teoretice şi pe calculele efectuate la nivelul proiectelor de execuţie elaborate pentru staţii-pilot. Toate aceste date necesită confirmarea experimentală, care va rezulta numai din exploatarea de durată a staţiilor-pilot.

Pe de altă parte, indicatorii de bază menţionaţi mai sus depind de condiţiile climatice şi morfogeografice ale amplasamentelor (latitudine, altitudine, condiţii de poluare etc.). Extrapolarea acestora pentru alte condiţii climatice şi de amplasament nu poate avea decît un caracter orientativ.

O concluzie esenţială, care se degajă din majoritatea studiilor de dată recentă în domeniu, constă în faptul că o analiză bazată numai pe criterii economice se dovedeşte a fi insuficientă pentru luarea deciziilor în vederea promovării filierei solaroelectrice. Calculele economice nu sînt în măsură să furnizeze date suficiente şi să răspundă unor prognoze pe termen lung, în special asupra evoluţiei unor parametri extrem de sensibili cum ar fi preţul combustibililor clasici în general, şi al petrolului în special, rata inflaţiei pe piaţa mondială a materiilor prime şi energetice, rata de actualizare etc.

Analiza conţinutului energetic poate furniza elemente de decizie suplimentare ce trebuie adăugate criteriilor economice clasice. Procesul de decizie în materie de planificare energetică — în particular privind valorificarea potenţialului solar — este de fapt o problemă de decizie multicriterială, în cadrul căreia trebuie conjugate criteriile economic şi energetic, precum şi impactul asupra mediului înconjurător.

Estimările referitoare la contribuţia potenţială a conversiei termodinamice în balanţa energetică depind, de asemenea, de condiţiile geografice, de climat şi amplasament şi , în plus, de existenţa unor suprafeţe de teren disponibil, improprii agriculturii sau degradate, care să poată fi afectate utilizărilor energetice.

Cu toate că activitatea de cercetare-dezvoltare va avea încă un drum lung şi anevoios de parcurs pînă cînd tehnologiile de realizare a centralelor solaroelectrice vor deveni competitive, în special pentru ţări cu grad mediu de însoleiere, conversia termodinamică apare de pe acum ca una din soluţiile promiţătoare de valorificare a energiei solare.

Bibliografie

[1] Popescu, C., Dăncilă, M. M. şi Vărzaru, V. *Centrale solaroelectrice cu ciclu termodinamic. Stadiul actual şi tendinţe de dezoltare.* În : Energetica, 29, nr. 4, 1981, p. 154—166.

[2] Jäger, F. *A Comparative Economic Assessment of Decentralized and Centralized Solar Energy Conversion Technologies in the EEC Region.* Raport prezentat la „Seminar on Technologies Related to New Energy Sources", Jülich (R.F.G.), 8—12 decembrie 1980.

[3] Kreith, F. *A Technical and Economic Assessment of Three Solar Conversion Technologies.* Raport prezentat la „Seminar on Co-operative Technological Forecasting — Solar Energy", Tenerife (Spania), 2—7 iulie 1979.

[4] Grasse, W. *IEA Small Solar Power Systems Project.* Raport prezentat la „International Symposium on Solar Thermal Power Stations", Köln, 1978.

[5] Etievant, C. *Les centrales solaires de puissance.* Curs la Seminarul AIEA, Paris, mai-iunie 1980.

[6] * * * *Determinarea consumului de resurse primare pe produs.* În : Studii de economie industrială, Institutul de Economie Industrială, Bucureşti, nr 7, 1979.

[7] Claverie, M. şi Etievant, C. *Les aspects economiques des centrales solaires à tour.* În : Revue de l'Energie, 30, nr. 313, 1979, p. 200—208.

[8] Stoy, B. şi Feustel, J. E. *Solar Energy and Wind Energy — Contribution to Covering Future Energy Demand.* În : Proceedings of the 11th World Energy Conference, vol. 1A, p. 587—611. Munich, 8—12 sept. 1980.

[9] Toth, G., Causse, J. P. şi Claverie, M. *Solar Energy Production. French Thermodynamic Power Station.* În : Proceedings of the 11th World Energy Conference, vol. 1A, p. 665—683. Munich, 8—12 sept. 1980.

(Articol intrat în redacţie la 2 februarie 1981)

Erată. La articolul „Centrale solaroelectrice cu ciclu termodinamic — stadiul actual şi tendinţe de dezvoltare", apărut în „Energetica" nr. 4/1981, relaţia (10) de la pag. 160 se va citi:

$$\eta_c = \eta_i \cdot \alpha_c - \frac{\sigma \cdot \varepsilon_c \cdot T_c^4 + h_c(T_c - T_0)}{C \cdot E_i \cdot \eta_r \cdot \eta_g}$$

Sisteme de recuperare a căldurii din resursele energetice secundare de joasă temperatură cu pompe de căldură *)

Asist. ing. Alex. Chisacof**)

Între problemele de mare complexitate ale dezvoltării economiei naţionale, în actualul cincinal un loc important îl ocupă lărgirea continuă a bazei energetice, a asigurării resurselor de combustibili, energie şi materii prime necesare, precum şi îmbunătăţirea eficienţei utilizării acestora în procesele industriale. În acest sens, cincinalul 1981—1985 prevede modificări esenţiale atît în ceea ce priveşte folosirea resurselor energetice, a raţionalizării consumurilor, cît şi referitor la creşterea eficienţei cu care sînt utilizate acestea.

Aşa cum se cunoaşte, una dintre căile principale de economisire a combustibilului, care se exprimă prin ridicarea randamentelor termoenergetice cu care sînt utilizaţi purtătorii de energie, o constituie valorificarea resurselor energetice secundare.

Metodele de recuperare a resurselor energetice secundare au o mare diversitate, fiind condiţionate de o serie de parametri, ca de exemplu : debit, presiune, temperatură, natura agentului termic, precum şi de continuitatea generării lor de către instalaţiile industriale.

Dacă pînă în prezent problemele legate de recuperarea resurselor energetice secundare de înaltă şi medie temperatură au fost rezolvate în mare parte, problema recuperării resurselor energetice secundare de joasă temperatură rămîne în continuare deschisă. Această recuperare este cu atît mai importantă cu cît cele mai mari cantităţi de căldură evacuate în mediul ambiant aparţin acestei categorii de resurse.

În lucrarea de faţă se încearcă să se găsească cîteva soluţii teoretice şi practice pentru recuperarea acestor resurse. Trebuie arătat de la început că se consideră ca recuperabile resursele care au o temperatură imediat superioară celei a mediului ambiant. Într-o serie de lucrări, pentru delimitarea nivelului de temperatură pentru resursele energetice secundare de nivel termic coborît s-a ales temperatura de 150—200°C.

Pentru recuperarea acestor resurse există două direcţii principale :

— recuperarea pentru producerea de căldură ;
— recuperarea pentru producerea frigului industrial.

*) Comunicare prezentată la a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din România. Braşov, 4—6 decembrie 1980.

**) Institutul politehnic Bucureşti.

Problema alegerii direcţiei de recuperare este în principal o funcţie de nivelul termic al resursei şi de posibilitatea de utilizare a căldurii recuperate de către un consumator termic.

În figura 1 sînt arătate diferitele posibilităţi de utilizare a acestor resurse în funcţie de temperatura la care sînt disponibile, bineînţeles soluţia de recuperare aleasă rezultînd în urma analizei concrete a cazului respectiv.

Se observă că recuperarea resurselor cu temperaturi cuprinse între 100 şi 150—200°C se face direct în scopuri de încălzire şi producere de frig. În domeniul de temperaturi 60—100°C, recuperarea poate avea loc atît direct pentru încălzire, cît şi utilizînd pompa de căldură pentru ridicarea nivelului de temperatură pînă la valoarea cerută de consumator.

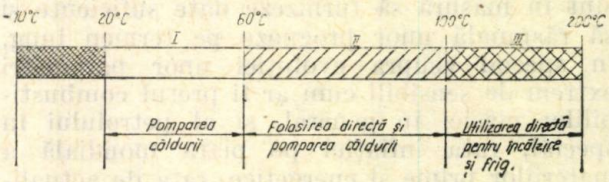


Fig. 1. Posibilităţi de recuperare a r.e.s. de joasă temperatură.

Pentru recuperarea r.e.s. ce au o temperatură disponibilă cuprinsă între temperatura mediului ambiant şi temperatura de 60°C, se impune şi introducerea instalaţiilor de pompă de căldură pentru ridicarea nivelului termic pînă la o valoare curent utilizabilă.

În cele ce urmează se va prezenta recuperarea resurselor energetice secundare menţionate anterior cu instalaţii de pompe de căldură, arătîndu-se cîteva exemple concrete de recuperare.

1. Cuplarea directă a pompei de căldură cu instalaţia producătoare de resurse energetice secundare

Pompa de căldură este o instalaţie termică care funcţionează după ciclul termodinamic inversat. În această instalaţie, agentul termic intră cu o entalpie H_1 şi iese cu o entalpie H_2, această diferenţă fiind dată de lucrul mecanic primit de pompă şi transformat în căldură (fig. 2*a*).

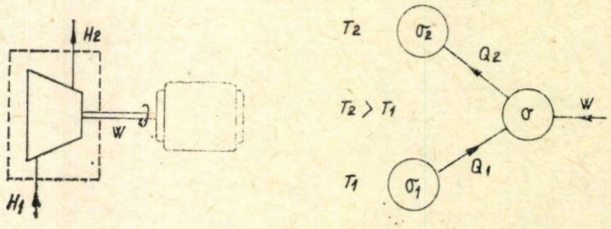


Fig. 2. Schema de principiu a funcţionării pompei de căldură : *a* — schema pompei de căldură ; *b* — schema transformatorului de energie între două surse.

Din primul şi al doilea principiu al termodinamicii aplicat pompei de căldură σ, care funcţionează între două surse decăldură, σ_1 şi σ_2, de temperaturi T_1 şi T_2 (fig. 2 *b*), se determină coeficientul de pompare a căldurii :

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{W} = 1 + \frac{Q_1}{W}, \qquad (1)$$

unde

Q_1 şi Q_2 sînt cantităţile de căldură schimbate cu cele două surse de căldură, în kJ ;

W — lucrul mecanic primit din exterior, în kJ.

Eficienţa maximă a pompei de căldură este dată de coeficientul de pompare a căldurii aferent ciclului Carnot, adică :

$$\varepsilon_{max} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \qquad (2)$$

În continuare se vor prezenta două exemple de cuplare directă a pompei de căldură cu instalaţia care generează r,e.s.

a) *Cuplarea unei coloane de distilare cu o pompă de căldură*

În figura 3 se arată schema de funcţionare a unei instalaţii clasice de distilare. Examinînd această instalaţie din punct de vedere energetic, se observă că este necesară alimentarea cu căldură a serpentinei de vaporizare Q_v, căldură ce se regăseşte în pierderile termice ale coloanei şi în entalpia vaporilor de distilat de la vîrful coloanei. Pentru a lichefia vaporii distilaţi, aceştia sînt introduşi într-un condensator răcit cu apă de răcire, apă care preia căldura de condensare Q_c. Această căldură se poate considera practic pierdută. Un alt inconvenient al instalaţiilor clasice de distilare este că pentru răcirea condensatorului este necesar un debit foarte mare de apă de răcire, ceea ce implică un consum important de energie electrică pentru pompare. O altă modalitate de răcire utilizată este răcirea cu aer, răcire care implică suprafeţe foarte mari de schimb de căldură şi ventilatoare de mare putere.

Aşa cum s-a arătat anterior, prin utilizarea pompei de căldură se cuplează cele două procese de răcire şi încălzire.

Există cel puţin trei posibilităţi de a asocia unei coloane de distilare o pompă de căldură. Prima constă în a construi o pompă de căldură cu fluid auxiliar, sursa rece fiind constituită din condensatorul coloanei, iar sursa caldă fiind vaporizatorul (fig. 4 *a*).

La această schemă există posibilitatea îmbunătăţirii eficienţei energetice prin introducerea unui schimbător de căldură subrăcitor-supraîncălzitor între lichidul L' şi vaporii V' ai fluidului de lucru din pompă.

A doua şi a treia posibilitate de cuplare a pompei de căldură cu coloana de distilare

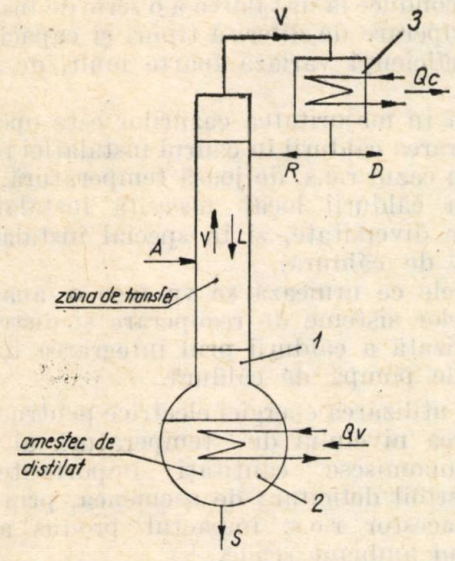


Fig. 3. Schema unei instalaţii clasice de distilare :

1 — coloană de distilare; *2* — zona de vaporizare; *3* — condensator, *A* — produs de distilat; *V* — vapori de distilat; *L* — lichidul distilat; *R* — refluxul de distilat; *D* — distilatul la rezervor; *S* — fracţie greu volatilă.

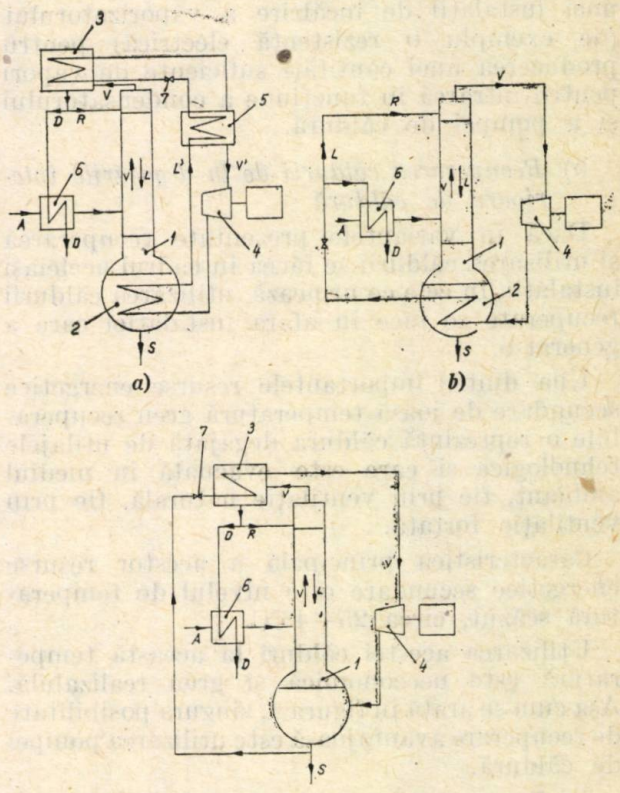


Fig. 4. Scheme de cuplare a pompei de căldură cu o coloană de distilare :

1 — coloană de distilare; *2* — zonă de vaporizare; *3* — condensator; *4* — compresor; *5* — schimbător supraîncălzitor-subrăcitor; *6* — preîncălzitor de produs dstilat; *7* — vană de laminare.

A — produs de distilat; *V* — vapori de distilat; *L* — lichidul distilat; *R* — refluxul de distilat; *D* — distilatul la rezervor; *S* — fracţie greu volatilă; *L'*, *V'* — vaporii şi lichidul fluidului auxiliar din pompă.

constă în utilizarea amestecului de distilat ca fluid de lucru în pompă. Acest efect se poate realiza în două moduri :

— fie recomprimînd vaporii din vîrful coloanei și de a-i condensa într-un schimbător de căldură situat la baza coloanei, schimbătorul fiind chiar serpentina de vaporizare a coloanei (fig. 4 *b*),

— fie laminînd amestecul lichid din vaporizatorul coloanei și utilizîndu-l ca fluid de răcire în condensatorul coloanei (fig. 4 *c*). Vaporii astfel formați sînt recomprimați și condensați prin contact cu amestecul de lichid de distilat din vaporizator (recomprimarea indirectă a vaporilor).

În toate aceste cazuri se recuperează în vaporizator entalpia vaporilor de la vîrful coloanei, ceea ce reprezintă o importantă economie de energie.

Al doilea și al treilea sistem prezintă, în raport cu primul, avantajul de a nu necesita decît un singur schimbător de căldură, amplasat fie la baza (fig. 4 *b*), fie la vîrful coloanei (fig. 4 *c*), precum și inconvenientul de a fi necesar un compresor care să se poată adapta diferitelor amestecuri, în stare de vapori, care sînt distilate.

La pornirea instalației este necesară existența unei instalații de încălzire a vaporizatorului (de exemplu o rezistență electrică) pentru producerea unei cantități suficiente de vapori pentru intrarea în funcțiune a condensatorului și a pompei de căldură.

b) *Recuperarea căldurii de la degajările interioare de căldură*

Dacă în variantele prezentate recuperarea și utilizarea căldurii se făcea în cadrul aceleiași instalații, în cele ce urmează utilizarea căldurii recuperate se face în afara instalației care a generat-o.

Una dintre importantele resurse energetice secundare de joasă temperatură greu recuperabile o reprezintă căldura degajată de utilajele tehnologice și care este evacuată în mediul ambiant, fie prin ventilație naturală, fie prin ventilație forțată.

Caracteristica principală a acestor resurse energetice secundare este nivelul de temperatură scăzut, circa 25—45°C.

Utilizarea acestei călduri la această temperatură este neeconomică și greu realizabilă. Așa cum se arată în figura 1, singura posibilitate de recuperare avantajoasă este utilizarea pompei de căldură.

În figura 5 este arătat modul de integrare a pompei de căldură pentru recuperarea căldurii din aerul evacuat din încăperi. Serpentina vaporizatorului pompei de căldură se introduce în canalul de ventilație, iar în condensatorul acesteia se cedează căldura, la un nivel termic adecvat, sistemului de încălzire. După cum se observă, introducerea pompei de căldură atrage după sine modificări minime ale instalației de ventilație existente.

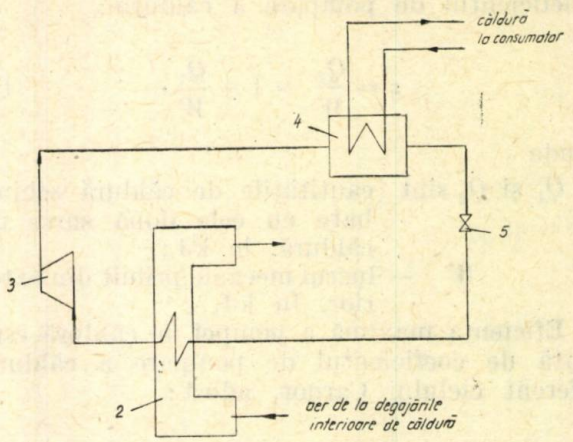


Fig. 5. Schema de recuperare a degajărilor interioare de căldură cu pompa de căldură :
1 — canal de ventilație; *2* — serpentină de vaporizare; *3* — compresor; *4* — condensator; *5* — ventil de laminare.

2. Sisteme centralizate de recuperare a căldurii cu pompa de căldură

Problema recuperării căldurii separat de la fiecare utilaj generator de r.e.s. conduce la existența, în multe situații, a posibilității limitate de utilizare a acesteia.

În cazul unei platforme industriale există mai multe utilaje care pot genera r.e.s. la diferite presiuni și temperaturi. Una dintre mărimile cele mai importante care se iau în considerație la alegerea modului de recuperare, sau chiar la decizia privind oportunitatea recuperării, o constituie debitul de căldură și continuitatea lui. Pe de altă parte, recuperarea locală conduce la instalarea a o serie de instalații de recuperare de diferite tipuri și capacități a căror eficiență variază foarte mult, de la caz la caz.

Dacă în majoritatea cazurilor este oportună recuperarea căldurii în cadrul instalației respective, în cazul r.e.s. de joasă temperatură, recuperarea căldurii local necesită instalații de o mare diversitate, și în special instalații de pompă de căldură.

În cele ce urmează se va face o analiză a diferitelor sisteme de recuperare și distribuție centralizată a căldurii prin integrarea instalațiilor de pompă de căldură.

Prin utilizarea energiei electrice pentru îmbunătățirea nivelului de temperatură al r.e.s., se economisesc cantități importante de combustibil deficitar; de asemenea, prin utilizarea acestor r.e.s. impactul produs asupra mediului ambiant scadè.

În funcție de destinația lor la sistemele de recuperare centralizată cu pompe de căldură, ele pot fi amplasate la centrala de recuperare,

la consumator, sau să funcţioneze în cascadă.

O schemă de recuperare cu pompa de căldură centrală este arătată în figura 6 *a*. Pompa de căldură este amplasată central şi poate produce atît căldură cît şi apă de răcire pentru consumatori. Instalaţia de pompă de căldură de la centrală poate fi constituită din mai multe unităţi funcţionînd în serie sau paralel. Sistemul de distribuţie a căldurii poate avea unul, două sau mai multe circuite de conducte, corespunzătoare diferiţilor parametri ceruţi de consumatori. Distribuţia căldurii de la centrală se face la parametrii ceruţi de consumatori, deci la temperaturi care necesită izolarea conductelor. Turnul de răcire este folosit pentru

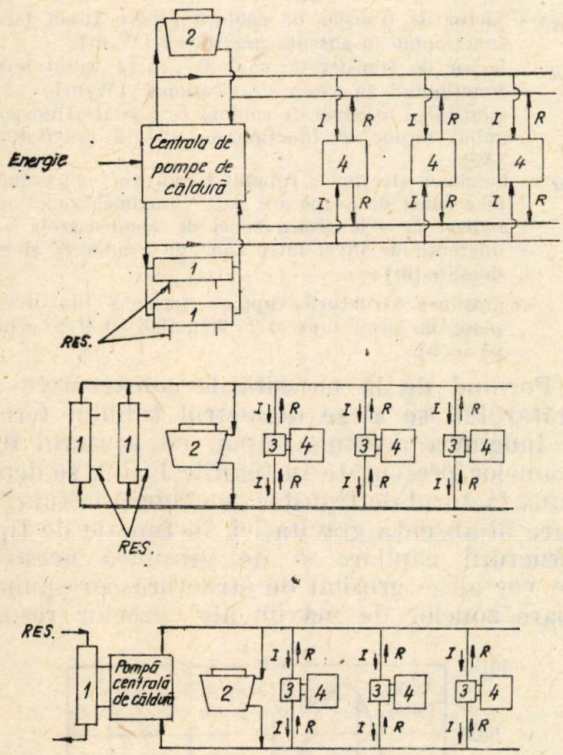


Fig. 6. Scheme de recuperare centralizată a căldurii cu pompa de căldură :

1 — recuperator de r.e.s.; *2* — turn de răcire; *3* — pompă de căldură; *4* — consumator de căldură.

I — încălzire; *R* — răcire.

a prelua surplusul de căldură ce ar putea exista la un moment dat şi de asemenea cînd sarcina de răcire nu se poate acorda cu cea de încălzire prin pompa de căldură, prima fiind preluată de turn. Calitatea impusă apei utilizate ca mediu purtător de căldură este cea impusă reţelelor de încălzire industrială.

În figura 6 *b* se arată un sistem de distribuţie a căldurii la o temperatură moderată (20—45°C) prin unul sau două circuite de conducte care nu necesită izolaţie. Căldura r.e.s. este recuperată centralizat într-un sistem de schimbătoare de căldură şi apoi este trimisă în conductele de distribuţie în platformă. Costul conductelor se reduce considerabil în acest caz, datorită reducerii numărului lor şi dispariţiei izolaţiei.

Alegerea uneia din cele două soluţii expuse anterior depinde de condiţiile specifice ale fiecărui caz în parte.

O combinaţie sau un sistem de recuperare în cascadă este posibil atunci cînd căldura este recuperată pe o scară largă de temperaturi. Sistemul în cascadă combină avantajele recuperării centralizate cu pompă de căldură cu distribuţia la consumatori a căldurii la o anumită temperatură, fără a mai fi necesară instalarea cîte unei reţele de conducte pentru fiecare nivel de temperatură (fig. 6 *c*). În acest caz, distribuţia se face printr-un singur sistem de conducte, ceea ce duce la scăderea considerabilă a investiţiei. Pompele de căldură de la consumator au rolul de a-l alimenta cu căldură la temperatura necesară. De asemenea, prin instalarea la consumator a pompei de căldură, încălzirea şi răcirea pot avea loc simultan, ceea ce conduce la o creştere considerabilă a eficienţei energetice a sistemului.

În concluzie, se poate spune, pe baza celor arătate, că alegerea optimă a sistemului de recuperare cu pompă de căldură se poate face numai în urma unor analize concrete a situaţiilor posibile. De asemenea, în cazul existenţei mai multor instalaţii generatoare de r.e.s. de joasă temperatură care nu pot utiliza căldura acestora, se impune recuperarea şi distribuţia centralizată a căldurii şi apei de răcire, care realizează o circulaţie de fluxuri de energie avînd ca efect creşterea considerabilă a eficienţei recuperării.

Grătare din bare cu tuburi termice, o nouă metodă de îmbunătățire a randamentului de ardere în strat a combustibililor solizi inferiori*)

Șef. lucr. ing. **D. Fetcu**,
conf. dr. ing. **N. Antonescu**
și asist. ing. **Gh. Băcanu****)

Arderea lignitului brut și în general a combustibililor solizi inferiori în instalațiile mici, în strat, ridică probleme dificile, încă nerezolvate satisfăcător prin metodele clasice. În consecință, în instalațiile actuale se obțin randamente de ardere nesatisfăcătoare, ce nu depășesc 50%.

Folosirea tuburilor termice în alcătuirea grătarelor reprezintă o soluție constructivă neconvențională, care poate aduce îmbunătățiri substanțiale procesului de ardere, urmate în consecință de creșterea randamentului.

În prima parte a lucrării se prezintă foarte succint o metodă grafică pentru determinarea performanțelor unor tuburi termice funcționînd cu sodiu drept fluid de lucru. Cu ajutorul acestei metode se poate obține o orientare cantitativă simplificată în domeniul posibilităților de transfer de căldură ale tubului termic și se poate aprecia potențialul acestui dispozitiv în vederea folosirii lui la construcția barelor de grătar. Pentru noțiuni privind principiul de funcționare și construcția tubului termic, se poate consulta bibliografia indicată.

În partea a doua a lucrării se prezintă posibilitățile de folosire a tubului termic în construcția grătarelor de ardere. Cu ajutorul exemplului de calcul prezentat și prin folosirea diagramelor de performanță, se pot chiar schița cîteva jaloane de proiectare a unor grătare din bare cu tuburi termice.

Metodă grafică pentru proiectarea simplificată a unor tuburi termice cu sodiu

Tubul termic este un dispozitiv care realizează un transfer eficient de căldură, prin îmbinarea într-un ciclu închis a fenomenelor de vaporizare, transport de vapori, condensare și returnare condensat, ale unui fluid de lucru.

Deoarece, în cazul folosirii tubului termic la construcția grătarelor din bare, temperatura de funcționare a acestuia se situează în jurul a 800°C, s-a ales drept fluid de lucru sodiul.

De asemenea, s-a considerat că în cazul grătarelor din bare folosite la instalațiile mici de ardere (pînă la 1 t/h) ar prezenta interes practic tuburile termice construite din țevi cu diametrul nominal de 1″ și 1 1/2″. În scopul unei abordări cantitative a posibilității de folosire a acestor tuburi termice într-o asemenea aplicație, se schițează în continuare o metodă grafică cu ajutorul căreia se pot determina tuburile termice necesare în funcție de condițiile de proiectare a grătarului. Diagramele prezentate au fost întocmite cu ajutorul unui program de proiectare a tuburilor termice, rulat pe calculatorul Felix C-256 al Universității din Brașov.

Notațiile folosite au următoarele semnificații:

Q_{0G} — factor de transfer de căldură pentru tubul termic funcționînd în absența gravitației [W·m];

Q_{1G} — factor de transfer de căldură pentru tubul termic funcționînd în cîmp gravitațional [W·m];

Q — cantitatea maximă de căldură ce o poate transporta tubul termic în funcționare asistată gravitațional [W];

L_{ef} — lungimea efectivă a tubului termic [m] (L_v — lungimea zonei de evaporare, L_a — lungimea zonei adiabatice, L_c — lungimea zonei de condensare);

H — diferența de nivel între zona de evaporare și condensare [m];

δ — grosimea structurii capilare formată din diferite plase din sîrmă inox (325, 200, 100, 50 și 20 ochiuri pe inch).

Pornind de la necesitățile constructive ale grătarului, se alege diametrul tubului termic și lungimea acestuia. Apoi, cu ajutorul diagramelor prezentate în figurile 1 și 2, se determină factorul de transfer de căldură la funcționare în absența gravitației, în funcție de tipul structurii capilare și de grosimea acesteia. Se vor alege grosimi de structură corespunzătoare zonelor de maxim ale curbelor respec-

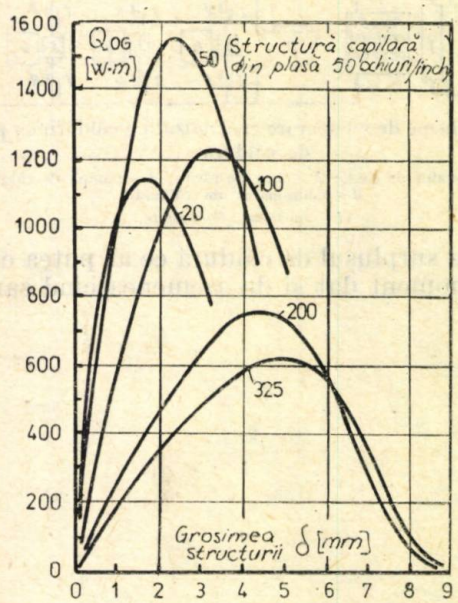


Fig. 1. Variația factorului de transfer de căldură cu grosimea structurii capilare la un tub termic cu diametrul de 1″, funcționînd în absența gravitației.

*) Comunicare prezentată la a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din România. Brașov, 4—6 decembrie 1980.

**) Ing. Dumitru Fetcu și ing. Gheorghe Băcanu sînt cadre didactice la Universitatea din Brașov; dr. ing. Nicolae Antonescu este conferențiar la Facultatea de instalații București.

tive. Deoarece cantitatea de căldură transportată este foarte mare, și de cele mai multe ori depășește necesitățile, în proiectarea practică se pot alege grosimi de structură mult mai mici. În continuare se determină, cu ajutorul

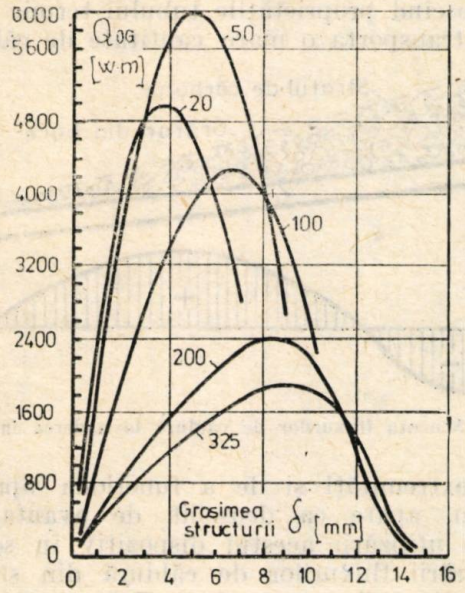


Fig. 2. Variația factorului de transfer de căldură cu grosimea structurii capilare la un tub termic cu diametrul de 1 1/2", funcționînd în absența gravitației.

diagramelor din figurile 3 și 4, factorul de transfer de căldură la funcționare asistată gravitațional, în funcție de diferența de nivel, H_v, între capătul evaporatorului și capătul condensatorului. Această diferență de nivel este determinată de condițiile constructive impuse grătarului. Se poate observa că debitul de căldură transportat de tubul termic crește foarte mult cu creșterea lui H. În final, se poate calcula cantitatea maximă de căldură, Q

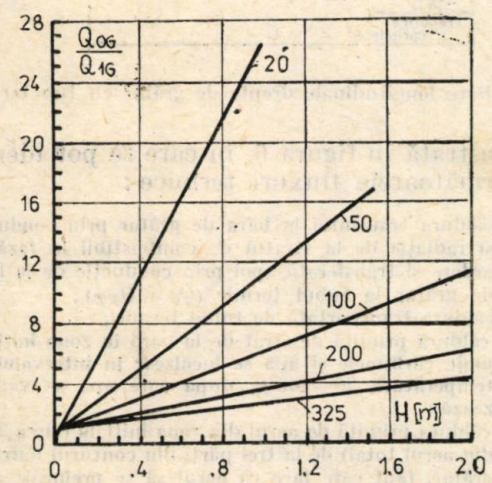


Fig. 3. Variația factorului de transfer de căldură cu diferența de nivel între evaporator și condensator, la un tub termic cu diametrul de 1", funcționînd asistat gravitațional.

ce poate fi transportată de tubul termic ales:

$$Q = \frac{Q_{1G}}{L_{ef}} \text{ [W]}, \qquad (1)$$

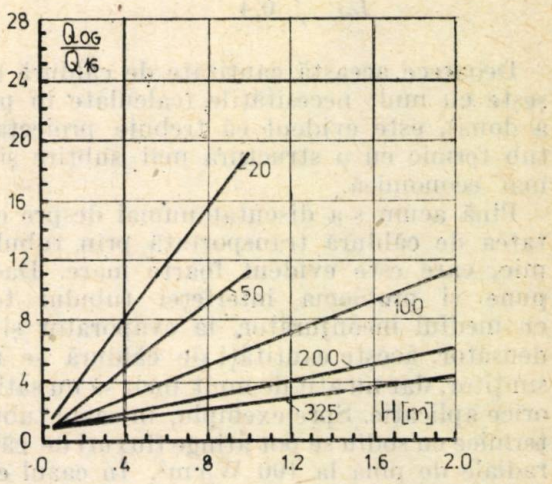


Fig. 4. Variația factorului de transfer de căldură cu diferență de nivel între evaporator și condensator, la un tub termic cu diametrul de 1 1/2", funcționînd asistat gravitațional.

unde

$$L_{ef} = \frac{L_v}{2} + L_a + \frac{L_c}{2} \text{ [m]} \qquad (2)$$

Se menționează că diagramele prezentate pot fi folosite pentru calculul tuburilor termice de orice lungime. De asemenea, se poate observa că în cazul funcționării asistate gravitațional (condensatorul deasupra evaporatorului) este avantajoasă folosirea unor tuburi termice echipate cu structuri capilare mai grosiere (20, 50 ochiuri), deoarece acestea transportă cantități mai mari de căldură. Structurile fine (325, 200 ochiuri) pot fi folosite în aplicații în care funcționarea tubului termic nu este asistată gravitațional. Acest aspect depășește însă cadrul prezentei lucrări.

În cazul unui grătar din bare avînd lungimea de 0,8 m și echipat cu tuburi termice de 1 1/2", folosind metoda grafică prezentată mai sus, se poate schița proiectarea unui asemenea tub termic și se poate afla cantitatea maximă de căldură transportată.

Alegînd o structură capilară din plasă inox cu 50 ochiuri pe inch și grosimea de 5,2 mm (corespunde la 10 straturi de plasă), rezultă din figura 2: $Q_{0G} = 6000$ [W · m]. Presupunînd că grătarul este înclinat cu 15 cm (H=15 cm), din fig. 4 rezultă:

$$Q_{1G} = 2{,}4 \; Q_{0G} = 2{,}4 \cdot 6000 = 14\,400 \text{ [W.m]}$$

Considerînd că tubul termic ales are $L_v = 0{,}4$m, $L_a = 0$ și $L_c = 0{,}4$ m, rezultă $L_{ef} = 0{,}4$ m.

Deci cantitatea maximă de căldură ce o poate transporta tubul termic ales este:

$$Q = \frac{Q_{1C}}{L_{ef}} = \frac{14\,400}{0{,}4} = 36\,000 \text{ W}$$

Deoarece această cantitate de căldură depăşeşte cu mult necesităţile (calculate în partea a doua), este evident că trebuie proiectat un tub termic cu o structură mai subţire şi deci mai economică.

Pînă acum s-a discutat numai despre cantitatea de căldură transportată prin tubul termic, care este evident foarte mare. Dacă se pune şi problema interfeţei tubului termic cu mediul înconjurător, la evaporator şi condensator, aceste cantităţi de căldură se reduc simţitor, dar nu atît de mult încît să nu satisfacă orice aplicaţie. Spre exemplu, în cazul tuburilor termice cu sodiu se pot atinge fluxuri de căldură radiale de pînă la 100 W/cm². În cazul exemplului nostru, considerînd un flux radial de numai 50 W/cm² şi calculînd suprafaţa evaporatorului, se obţine următoarea cantitate de căldură ce poate fi transportată radial:

$$Q_r = 50 \cdot \pi \cdot 3{,}8 \cdot 40 = 23876 \text{ W}$$

Folosirea tubului termic la construcţia grătarelor din bare

Arderea în strat a combustibililor solizi inferiori ridică probleme dificile datorită următoarelor particularităţi:

a) În zona iniţială a grătarului, aprinderea se face foarte greu, datorită umidităţii mari a combustibilului ($W = 30\,\%$) şi necesită un aport mare de căldură.

b) În zona finală a grătarului, datorită temperaturii mari în stratul care arde, se produc zgurificări (topirea cenuşii şi formarea de blocuri).

În instalaţiile mai mari de ardere în strat a lignitului (cazanele de 2 t/h şi 6,5 t/h) se adoptă grătarul cu împingere răsturnată, care, prin recircularea unei părţi a combustibilului incandescent spre amonte, asigură căldura de aprindere, iar printr-o răscolire puternică a stratului (datorită mişcării barelor) asigură ruperea formaţiunilor de zgură. La instalaţiile mai mici de ardere (cazane pînă la 1 t/h), grătarul cu împingere răsturnată nu se poate folosi, fiind prea complicat, scump şi greu de exploatat. Încercările de a realiza cazane mici cu grătare simple (bare drepte, bare în trepte fixe) nu au dat rezultate bune. Arderea incompletă, instabilitatea prin stingere în zona iniţială, zgurificările fac ca aceste încercări să nu ducă la rezultate acceptabile, randamentele de ardere nedepăşind 50 %.

Analizînd fazele de ardere a lignitului şi a celorlalţi combustibili solizi inferiori, cauza principală a dificultăţilor de ardere apare ca fiind repartiţia naturală neconvenabilă a fluxurilor de căldură: procese endotermice şi lipsă de căldură în zona iniţială de aprindere, procese exotermice cu temperaturi prea mari în zona finală de ardere (fig. 5).

Cunoscînd proprietăţile tubului termic de a putea transporta o mare cantitate de căldură

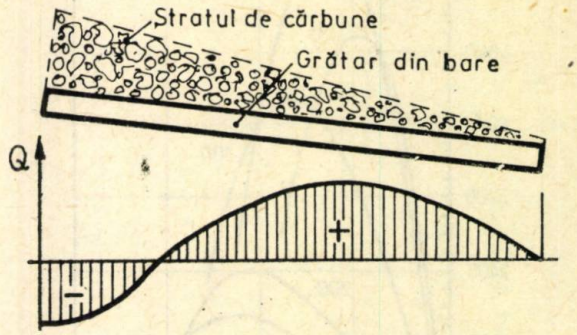


Fig. 5. Schema fluxurilor de căldură la arderea în strat

între extremităţi şi de a funcţiona aproape izoterm, apare ca deosebit de avantajoasă soluţia utilizării acestui dispozitiv în scopul echilibrării fluxurilor de căldură din stratul de combustibil de pe grătar. Tuburile termice pot fi montate în interiorul barelor de grătar dispuse longitudinal, preluîndu-se astfel căldura din zona de ardere şi transferîndu-se în zona de aprindere. Schema fluxurilor de căldură

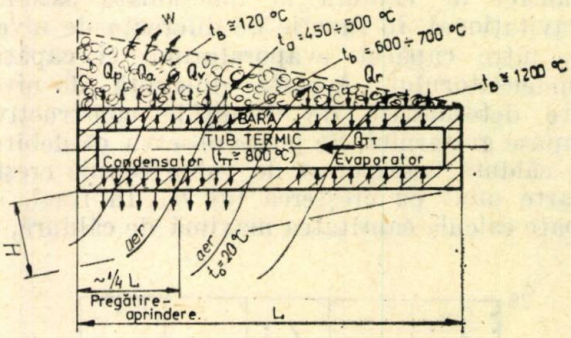


Fig. 6. Bare longitudinale drepte de grătar cu tub termic

este ilustrată în figura 6, în care se pot identifica următoarele fluxuri termice:

- Q_r — căldura transmisă la bara de grătar prin conducţie şi radiaţie de la stratul de combustibil în fază de ardere şi transferată apoi prin conducţie de la bara de grătar la tubul termic ($Q_r = Q_{TT}$);
- Q_{TT} — căldura transportată de tubul termic;
- Q_p — căldura primită de strat de la bară în zona iniţială, unde cărbunele şi apa se încălzesc în intervalul de temperatură 20—105°C, după care apa se vaporizează;
- Q_a — căldura primită de aerul din zona iniţială (circa 20 % din aerul total) de la trei părţi din conturul barei de grătar, fapt care face ca aerul să se preîncălzească la circa 450—500°C, contribuind şi el la uscarea prin convecţie a stratului de cărbune;
- Q_v — căldura primită de strat de la bară în zona a doua a grătarului şi folosită pentru degajarea volatilelor.

Cu aproximație, se poate scrie:

$$Q_{TT} = Q_p + Q_a + Q_v \qquad (3)$$

Pentru a demonstra că fluxul de căldură transmis prin tubul termic este suficient pentru asigurarea procesului de uscare-aprindere pe grătar, se va prezenta în continuare un exemplu de calcul aproximativ.

În figura 7 este prezentată în secțiune transversală o bară de grătar avînd lățimea b, echipată cu un tub termic de diametru d.

Se admite (dar nu este obligatoriu) condiția ca aria jumătății tubului termic să fie egală cu aria suprafeței superioare a barei de grătar.

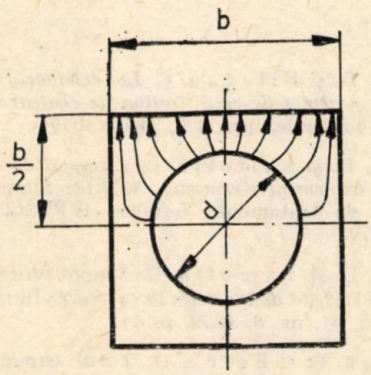


Fig. 7. Secțiune prin bară de grătar cu tub termic.

Din această condiție rezultă diametrul tubului termic, presupunînd că lățimea barei de grătar este $b = 60$ mm.

$$d = \frac{2b}{\pi} = 38 \text{ mm} \qquad (4)$$

Cantitatea de căldură necesară pentru încălzirea cărbunelui și eliminarea apei (Q_p din formula 1) se calculează în felul următor:

$$Q_p = Q_1 + Q_2 \quad [\text{kcal/h} \cdot \text{bară}], \qquad (5)$$

unde

Q_1 este necesarul de căldură pentru încălzirea cărbunelui de la 20°C la 120°C;

Q_2 — necesarul de căldură pentru încălzirea și vaporizarea apei.

$$Q_1 = B.c.\Delta t \quad [\text{kcal/h} \cdot \text{bară}], \qquad (6)$$

unde B este încărcarea cu lignit pe o bară:

$$B = b \cdot L \cdot q_b = 0{,}06 \cdot 0{,}8 \cdot 250 = 12 \text{ kg/h} \cdot \text{bară}, \qquad (7)$$

considerînd încărcarea cu lignit pe unitatea de suprafață de grătar $q_b = 250$ kg/m·h, în cazul grătarelor înclinate, iar lungimea grătarului $L = 0{,}8$ m.

$$Q_2 = W(i'' - i_0) \quad [\text{kcal/h} \cdot \text{bară}] \qquad (8)$$

La o umiditate inițială a lignitului $W' = 30\%$, conținutul de apă ce trebuie evacuat este:

$$W = B \cdot W' = 12 \cdot 0{,}3 = 3{,}6 \text{ kg/h} \cdot \text{bară} \qquad (9)$$

În consecință:

$$Q_p = B \cdot c \cdot \Delta t + W(i'' - i_0) =$$

$$= 12 \cdot 0{,}3(120 - 20) + 3{,}6\,(638{,}8 - 20)$$

$$Q_p = 2588 \text{ kcal/h} \cdot \text{bară} = 3009 \text{ W} \qquad (10)$$

Căldura necesară pentru preîncălzirea aerului în zona de uscare (Q_a din formula 1) se poate calcula astfel:

Aerul necesar arderii:

$$V_{aer} = B \cdot V_0 \cdot \alpha \cdot \varepsilon = 12 \cdot 2{,}52 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}2 =$$

$$= 9{,}1 \text{ Nm}^3/\text{h} \cdot \text{bară}, \qquad (11)$$

în care V_0 este aerul stoichiometric ($V_0 = 2{,}52$ Nm³/kg);

α — coeficient de exces de aer ($\alpha = 1{,}5$);

ε — fracție de debit introdus în zona de uscare ($\varepsilon = 20\%$).

Suprafața de încălzire a aerului este formată din 3 laturi ale barei de grătar:

$$F = 3 \cdot b \cdot L_{usc} = 3 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}2 = 0{,}36 \text{ m}^2/\text{bară}. \qquad (12)$$

Determinarea temperaturii aerului, t_a, se va face considerînd temperatura suprafeței barei de grătar $t_b = 600$°C și coeficientul superficial de schimb convectiv bară — aer

$$\alpha_c = 10 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grd}.$$

Făcînd următorul bilanț termic:

$$V_{aer} \cdot c_p(t_a - t_0) = F \cdot \alpha_c \left(t_b - \frac{t_a + t_0}{2} \right) \qquad (13)$$

și considerînd $c_p = 0{,}31$ kcal/Nm³ · grd; $t_0 = 20$°C, rezultă:

$$t_a = 472\text{°C}$$

Rezultă căldura absorbită de aer de la bară:

$$Q_a = V_a \cdot c_p(t_a - t_0) = 9{,}1 \cdot 0{,}31(472 - 20) =$$

$$= 1275 \text{ kcal/h} \cdot \text{bară} = 1479 \text{ W} \qquad (14)$$

Căldura necesară pentru degajarea volatilelor (Q_v din formula 1) se neglijează pentru a nu complica acest exemplu, care este numai orientativ. De altfel, s-a văzut că posibilitățile de transport de căldură ale tubului termic sînt mult mai mari decît necesarul de căldură impus de aplicație.

În consecință, cantitatea de căldură necesar a fi transportată de tubul termic este:

$$Q_{TT} = Q_p + Q_a = 3009 + 1479 = 4488 \quad (15)$$

Folosind metoda grafică prezentată în prima parte a lucrării, se vede că se pot proiecta tuburi termice care să satisfacă pe deplin transferul de căldură cerut de necesitatea echilibrării fluxurilor termice pe grătarele din bare.

Concluzii

Avantajele principale ale metodei de ardere a combustibililor inferiori pe bare cu tub termic sînt:

a) Posibilitate de utilizare a unor combustibili cu umiditate foarte mare.

b) Scurtarea substanțială a zonei de pregătire și aprindere (zona I).

c) Favorizarea degajării volatilelor în zona II a grătarului și deci scurtarea acestei zone de ardere.

d) Reducerea temperaturii în zona de ardere a cocsului (zona III) și deci evitarea zgurificării.

e) Menținerea unei temperaturi ridicate în zona de postardere (zona IV), scurtarea postarderii și obținerea unei arderi complete.

f) Ca urmare a pct. b, c, e, se pot obține grătare cu lungimi mai mici decît ale celor convenționale.

g) Economie de material și energie față de soluțiile clasice de grătare.

Domeniile de aplicare sînt:

— Cazane de apă caldă pentru încălzire centrală, pe lignit, cu debite de 40 000—800 000 kcal/h.

— Cazane de abur industriale, pe lignit, pînă la 1 t/h.

— Instalații de ardere pentru lignit și alți combustibili inferiori cu debite de circa 20—400 kg/h.

Bibliografie

[1] Fetcu, D. și Bilegan, C. *Les échangeurs à calodues dans les systèmes de récupération de chaleur.* În: Chaud-Froid—Plomberie, nr. 399, dec. 1979.

[2] Fetcu, D. și Samoilă, C. *L'emploi du caloduc aux fours de traitement thermique.* Al 7-lea Simpozion internațional de tratamente termice, ICPTSC, București, sept. 1979.

[3] Fetcu, D. și Samoilă, C. *Asupra utilizării tubului termic ca element de încălzire la cuptoare.* În: Construcția de mașini, 31, nr. 8, 1979, p. 441.

[4] Bilegan, C. și Fetcu, D. *Tubul termic — conducta ideală a căldurii.* În: Știință și tehnică, nr. 11, 1979.

RECENZII

C. MEREUȚĂ și J. GAYRAUD. **Măsuri practice pentru creșterea siguranței în funcționare a instalațiilor energetice industriale.** Editura tehnică, București, 1981, 200 p.

Apărută recent în ciclul „*Dezvoltarea energeticii, economia de combustibil și energie*", ce aparține Editurii tehnice, lucrarea cu titlul de mai sus reprezintă o valoroasă contribuție și un important aport adus de autori la informarea unei game largi de specialiști și nespecialiști, cu diferite niveluri de pregătire, într-un domeniu de mare actualitate; siguranța în funcționare a instalațiilor energetice industriale.

Prin specificul ei, lucrarea se înscrie fericit în literatura de specialitate apărută în țara noastră în domeniul fiabilității instalațiilor energetice, domeniu în care școala românească a înregistrat rezultate de prestigiu internațional.

Avînd un caracter cu deosebire aplicativ, lucrarea selectează măsurile practice necesare asigurării și creșterii nivelului de siguranță în funcționare în activitatea de exploatare a instalațiilor energetice industriale.

Cartea este structurată pe două părți distincte, care înglobează 8 capitole.

Prima parte, capitolele 1—6, conține principiile generale și se referă în special la alimentările cu energie de diferite forme din întreprinderile industriale, examinînd și prezentînd principalele aspecte tehnico-economice general valabile în orice sistem energetic de orice mărime și natură.

Astfel, primul capitol, cu caracter introductiv în problematica siguranței în funcționare a instalațiilor enegetice din întreprinderile industriale, prezintă și examinează următoarele aspecte: condiții de calitate în sistemele energetice, perturbații în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor și observații preliminare privind siguranța în funcționare a sistemelor energetice.

În cadrul capitolului 2 se fac cîteva considerații generale privind: definirea conceptului de sistem energetic, comportarea sistemelor energetice, stările în care se pot afla sistemele energetice sau componentele lor, clasificarea receptoarelor de energie în raport cu consecințele pe care le poate avea întreruperea furnizării energiei și după timpul critic după care apar consecințele dăunătoare.

Capitolul 2 se încheie cu clasificarea proceselor de producție după exigența privind continuitatea în alimentarea cu energie și clasificarea consumatorilor în funcție de puterea maximă absorbită.

Capitolul 3 se ocupă de bazele teoretice ale siguranței în funcționare. După o scurtă introducere, în care se prezintă principalele cauze care conduc la defectarea instalațiilor, în cadrul capitolului sînt examinate următoarele probleme: fiabilitate, defiabilitate (interpretare probabilistică, fiabilitatea unui ansamblu format din *n* componente), mentenabilitate și mentenanță, disponibilitate și indisponibilitate, siguranță în funcționare (observații generale și bazele teoretice ale determinării siguranței în funcționare a sistemelor energetice).

În capitolul 4 se fac considerații referitoare la alegerea soluțiilor de alimentare a consumatorilor industriali, ținînd seama de siguranța în funcționare necesară.

Pornind de la faptul că adoptarea soluțiilor de alimentare cu energie electrică a consumatorilor industriali trebuie să se facă pe baza unor analize multicriteriale, avînd în vedere considerente tehnice și economice, în cadrul capitolului 4 sînt prezentate și examinate următoarele probleme: criterii economice, criterii pentru determinarea daunelor provocate de întreruperea alimentării cu energie (daune directe la consumatori, daune la furnizor și daune indirecte la alți consumatori, predeterminarea daunelor anuale probabile, indicatori globali de daune).

Capitolul 5 al lucrării este rezervat prezentării și examinării principalelor căi și mijloace de creștere a gradului de siguranță și diminuare a efectelor negative provocate de perturbațiile în alimentarea cu purtători de energie. Principalele căi, care pot conduce la creșterea gradului de siguranță în alimentarea cu purtători de energie, abordate în cadrul acestui capitol sînt: rezervarea (forme aparte de rezervare, surse de intervenție, centrale electrice sau termice locale), separarea (izolare, insularizare, microzonare, zonare), menținerea în funcțiune a acționărilor electrice cu motoare asincrone sau sincrone la goluri de tensiune (autopornirea motoarelor de acționare, comportarea grupurilor de motoare cuplate la aceeași bară, comportarea motoarelor sincrone), evitarea extinderii avariilor prin influența reciprocă a instalațiilor, diminuarea efectelor poluării atmosferice și a coroziunii asupra siguranței în funcționare a instalațiilor electroenergetice și a echipamentelor termomecanice.

În continuare, în cadrul tematicii capitolului 5, sînt prezentate problemele: mentenanța și siguranța, contribuția mijloacelor tehnico-organizatorice la obținerea unei siguranțe în funcționare de nivel cît mai ridicat în instalațiile energetice (conducerea operativă a gospodăriei energetice în întreprinderile industriale, colaborarea dintre furnizor și consumator, orientarea, selecția, instruirea, verificarea și autorizarea personalului energetic, adoptarea „orei de vară", reglarea curbei consumului de energie a marilor cosumatori industriali).

Ultimul capitol al primei părți a lucrării, capitolul 6, se ocupă de relațiile între siguranța în funcționare și economia de energie. Plecînd de la interferențele dintre economisirea energiei și siguranța în funcționare a instalațiilor energetice ca principale obiective ale activității de gospodărire energetică, în cadrul acestui capitol sînt abordate următoarele aspecte: relația între continuitatea alimentării cu energie electrică și consumul specific energetic, relația dintre creșterea siguranței în funcționare prin rezervare și economia de energie (rezervele turnante sau calde, cazanele de rezervă, acumulatoarele de căldură, rezervoarele-tampon de fluide, transformatoarele de rezervă, liniile electrice de rezervă, buclarea rețelelor).

Cea de-a doua parte a lucrării (capitolele 7 și 8) este rezervată problemelor privind creșterea gradului de siguranță în funcționarea instalațiilor energetice industriale în cadrul unui contur industrial dat.

Capitolul 7 prezintă modelul activităților privind creșterea gradului de siguranță al instalațiilor enegetice dintr-un contur industrial: premise, structura activităților privind menținerea și creșterea gradului de siguranță în gospodăria energetică industrială (mentenanța preventivă și mentenanța curativă).

Ultimul capitol al cărții se referă la creșterea gradului de siguranță al unor categorii de instalații energetice industriale. În cadrul acestui capitol sînt dezvoltate următoarele aspecte: rețele electrice industriale, posturi de transformare, compensarea energiei reactive, rețele de abur și apă fierbinte, centrale termice, fluide energetice industriale (gaze naturale, aer comprimat, oxigen, acetilenă, apă industrială). Caracterul practic al lucrării este accentuat și prin cele 11 anexe în care se prezintă unele teme cu caracter aplicativ și exemple concrete de abordare a unora dintre aspectele importante ale activității în domeniul siguranței în funcționare a instalațiilor energetice.

Trecerea în revistă a conținutului lucrării atestă faptul că într-adevăr aceasta se înscrie într-un domeniu prioritar al preocupărilor energeticienilor, precum și al tuturor celor care prin natura activității lor au contingență cu problemele de siguranță și economicitate în funcționarea instalațiilor energetice.

Prin excelență, această lucrare practică are calitatea de a face accesibile, unui cerc larg de cititori, cunoștințe de o înaltă ținută teoretică cu implicații deosebit de utile nu numai pentru activitatea de proiectare, dar și pentru cea de exploatare și întreținere a instalațiilor energetice.

Remarcăm faptul că, pe lîngă acurateţea ei, lucrarea este bine proporţionată pe capitole şi selectează într-adevăr măsurile practice esenţiale prin aplicarea cărora se pot obţine creşteri substanţiale ale nivelului de siguranţă în exploatarea instalaţiilor energetice industriale.

Un merit incontestabil al cărţii constă şi în modul sistemic de abordare a conceptului de siguranţă a instalaţiilor energetice, în interdependenţa sa cu obiectivul major al economisirii combustibililor şi energiei. O altă corelaţie, bine ilustrată de autori în conţinutul cărţii, orientată pe direcţia creşterii siguranţei în exploatarea instalaţiilor energetice, este cea dintre sistemul de alimentare şi consum, respectiv dintre furnizor şi consumator.

Scrisă în baza unei ample bibliografii de specialitate (99 referinţe), ca şi a unei îndelungate experienţe în exploatarea instalaţiilor energetice industriale a autorilor, lucrarea răspunde într-adevăr necesităţilor reale de a asigura în mod concret un nivel sporit de siguranţă în funcţionarea instalaţiilor energetice industriale. Fără îndoială că, prin calităţile sale metodice şi ştiinţifice, lucrarea se va bucura de o bună primire în rîndul cititorilor, ea avînd o notabilă contribuţie la creşterea nivelului de perfecţionare a pregătirii profesionale a cadrelor cu pregătire medie de specialitate.

Ing. **Romulus Sfichi**

Condiţii pentru prezentarea articolelor la revista „Energetica"

1. Articolul să aibă maximum 12 pagini — excepţional 15 pagini — de 2000 semne (format DIN A4, la 2 rînduri).

2. Textul articolului se dactilografiază pe o singură faţă a hîrtiei ; formulele se scriu clar cu simboluri STAS, se numerotează şi se înscriu între paranteze rotunde ; indicaţiile bibliografice se înscriu între paranteze drepte.

3. Figurile se prezintă în tuş pe calc şi cu o copie xerox ; figurile foto trebuie să fie clare şi cu contrast pronunţat.

4. În textul articolului se indică locul tabelelor şi figurilor.

5. Bibliografia se prezintă în conformitate cu STAS :

Pentru cărţi : numele autorului, iniţiala prenumelui, titlul cărţii (la cele străine, titlul în original), editura, oraşul, anul.
Pentru periodice : numele autorului, iniţiala prenumelui, titlul (la cele străine, titlul în original), titlul periodicului, tomul, anul, pagina.

6. Tabelele, borderourile figurilor şi bibliografia se dactilografiază pe foi separate.

7. Titlul şi textul articolului trebuie să fie clare şi concise.

8. Articolul trebuie să fie sistematizat ; este obligatorie folosirea de subtitluri cu defalcări chiar pînă la ordinul al treilea ; pentru numerotare se va folosi sistemul zecimal (cifre arabe).

9. Articolul se prezintă în conformitate cu următoarea schemă principială : *introducere* (problematica, oportunitatea articolului), *analiză bibliografică* (stadiul problemei, preocupări în lume), *teoria* (fizic şi matematic), *practica* (industrială, experimente de laborator), *comparaţia teoriei cu practica, concluzii, utilizarea rezultatelor.*

10. Articolul va fi însoţit de un rezumat de 150 cuvinte într-o limbă străină de circulaţie mondială, la alegerea autorului.

11. Pentru articolele deosebite, redacţia va solicita ulterior autorilor respectivi scurte prezentări de 1000 cuvinte, în vederea publicării lor simultan în limba engleză.

12. Autorii garantează şi răspund de corectitudinea ştiinţifică a articolelor ; redactarea trebuie să respecte regulile stabilite de Academia R.S.R.

13. Corecturile se vor face de către autori în conformitate cu regulile tipografice sau se dau indicaţii pe foi separate.

14. Articolele primite la redacţie nu se înapoiază.

15. Materialele se predau în două exemplare.

16. Articolele se trimit numai semnate de autori ; se vor indica titlurile autorilor şi locurile de muncă.

17. Pentru articolele în legătură cu activitatea de serviciu trebuie să se prezinte aprobarea de publicare din partea conducerii unităţilor respective.

18. Articolele se trimit la redacţia revistei ENERGETICA pe următoarea adresă :

Revista Energetica
ICEMENERG
Bd. Energeticienilor nr. 8
74568 Bucureşti, Sector 3

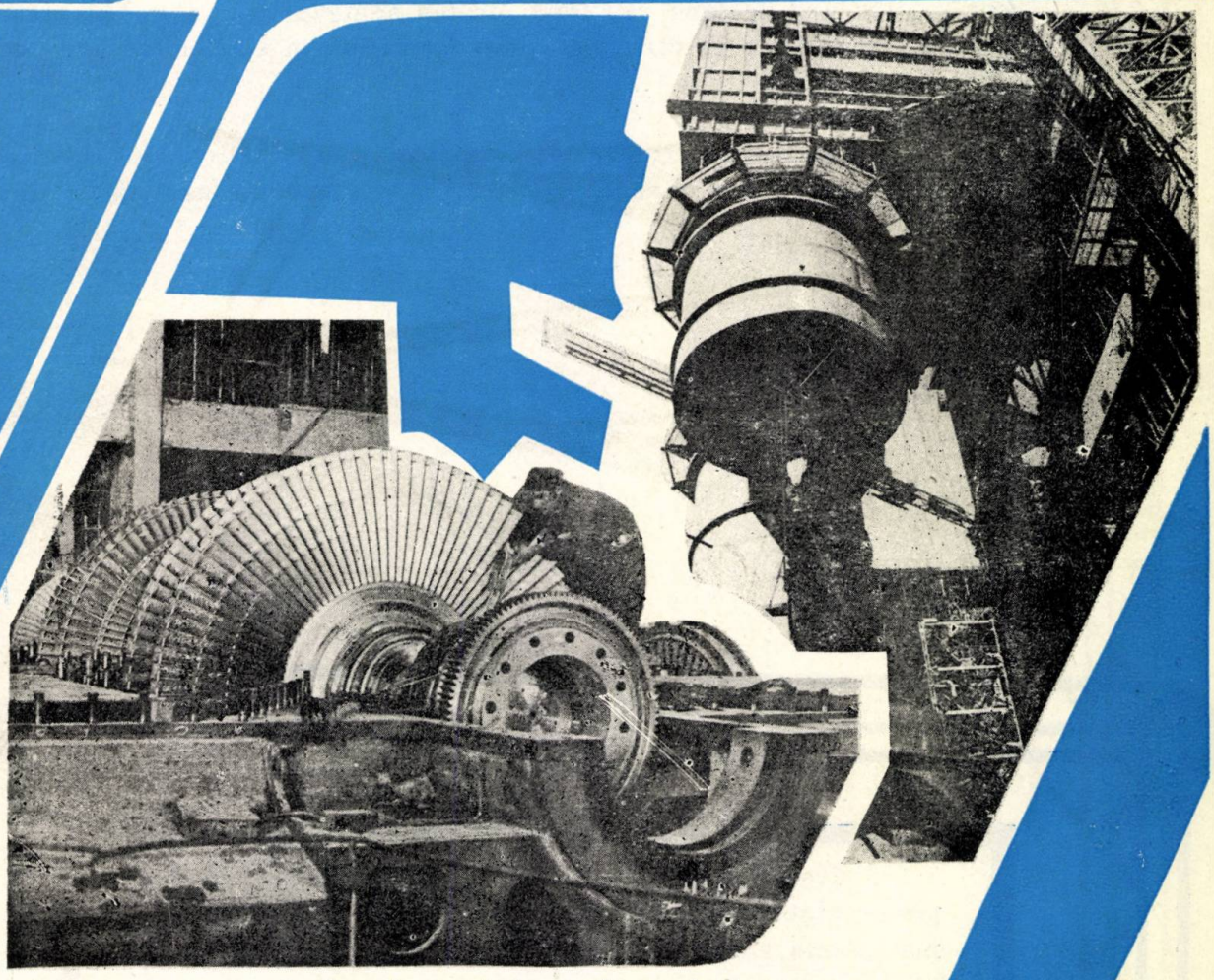
19. Informaţii suplimentare se pot cere la telefon : 20.67.30/int. 235

Revista „ENERGETICA" - organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S.România. Redacția: București, Bd. Energeticienilor 8, Sectorul 3. Telefon: 20 67 30. Instituțiile pot achita abonamentele pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30. 11. 8. 01 01 BN R.S.R—Sectorul 3. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/7914/1979

I. P. I. c. 1413

41 401

TRUSTUL ENERGOMONTAJ



Execută montarea, punerea în funcţiune şi darea în exploatare a echipamentelor şi instalaţiilor energetice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice

Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare
- cazane de abur de mare capacitate şi parametri înalţi de funcţionare
- turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW
- instalaţii de combustibil pentru cărbuni, păcură, gaze
- alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice.

Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice :
- turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW, conducte forţate
- echipamente şi alte instalaţii pentru centrale hidro şi termoelectrice
- echipamente şi instalaţii pentru ecluze.

Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale :
- instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 400 kV inclusiv
- instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice
- instalaţii de comutaţie secundară şi de automatizare.

Bucureşti, Calea Dorobanţi nr. 105, telefon 79.70.20, telex 335

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI ENERGETICE

BUCURESTI, Bd. Lacul Tei nr. 1, Tel. 12.19.70 ; 12.71.41 Telex 10.978 ispe r

Institutul de Studii şi Proiectări Energetice (The Institute for Power Studies and Designs), the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the achievement of the electrification plans, and for the electric networks operation in economic and safety conditions

cooperates with foreign firms and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power industry field

1982 FEB 18

. draws up technical and final designs for thermal power plants, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

. designs heat networks for urban and industrial purposes

. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

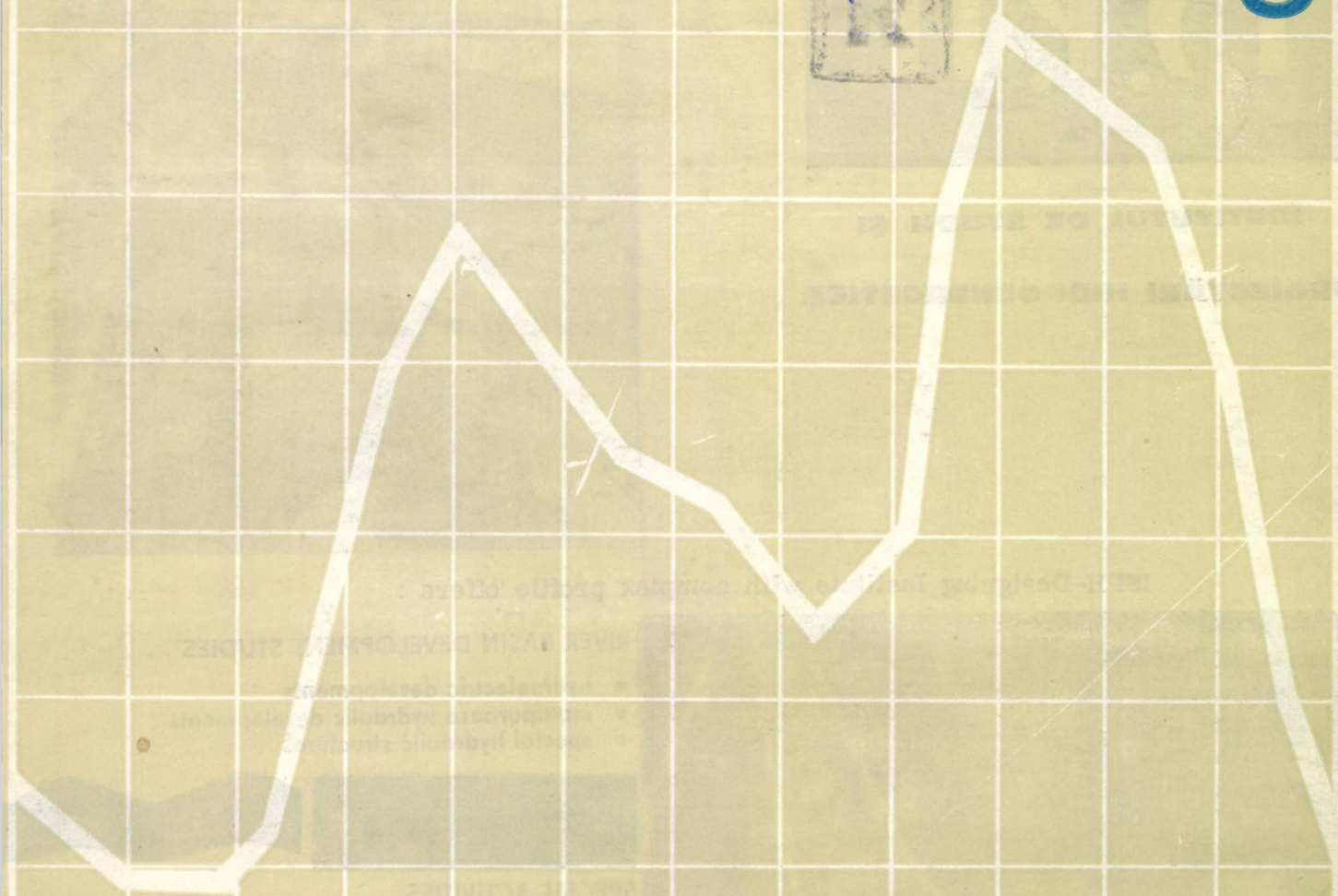
. grants technical assistance in the field of analysis an programming

= 2039

REFERÁLVA

MW

8



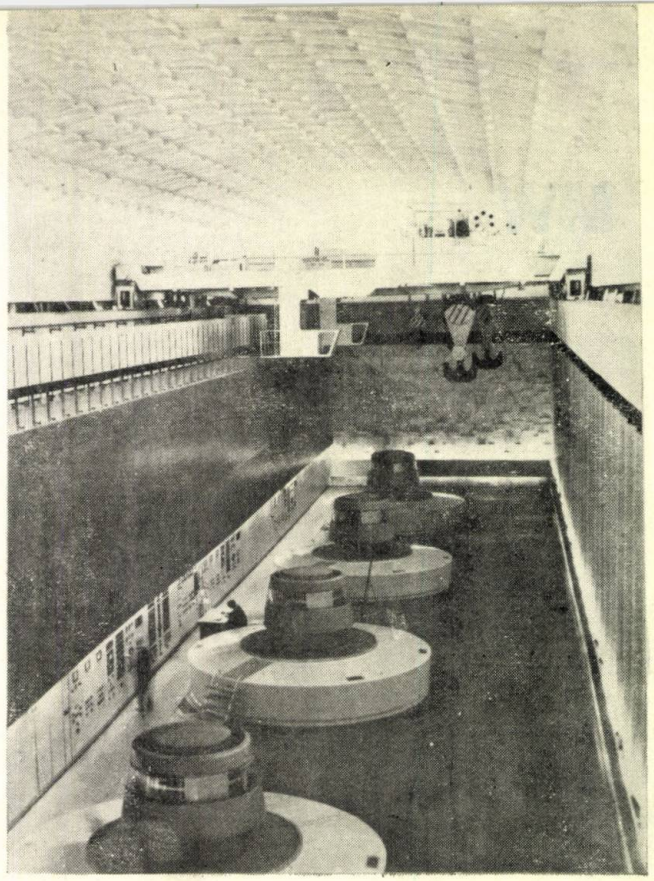
VOLUMUL XXIX
BUCUREŞTI
AUGUST 1981

energetica

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI

PROIECTĂRI HIDROENERGETICE



ISPH-Designing Institute with complex profile offers :

RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

SPECIAL ACTIVITIES

- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE
ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 29 Nr. 8 august

Cuprinsul

		Pag.
F. Moțoiu, C. Ionescu și *Fl. Alexe*	**Turbopompa de alimentare în CET urbane cu unități de mare putere. Fezabilitate, fiabilitate, oportunitate**	317—322
H. Crisciu și *M. Eremia*	**Minimizarea pierderilor de putere activă prin optimizarea compensării puterii reactive în rețelele electrice**	322—327
Șt. Nibeleanu și *R. Popescu*	**Explozii și incendii în instalațiile de preparare a cărbunelui, datorită prafului de cărbune**	327—332
P. Laurențiu	**Fenomenul de pompaj și prevenirea lui în exploatarea ventilatoarelor axiale de aer și gaze de ardere ale cazanului de 1035 t/h pe lignit**	333—340
C. Moldoveanu, M. Marinescu Raiu și *V. Manițiu*	**Analiza comparativă a sensibilității principalelor metode de detecție a defectelor produse de eforturile electrodinamice în transformatoarele de putere**	340—352
P. Buhuș și *Gh. Comănescu*	**Un punct de vedere cu privire la determinarea valorilor remanente**	353—356
E. Șandru, I. Cohut și *I. Sueiu*	**Aspecte ale utilizării apelor geotermale ca agent primar în schimbătoarele de căldură**	356—360
RECENZII		

COLEGIUL DE REDACȚIE

dr. ing. **Gh. Bălan** (redactor responsabil adjunct), ing. **P. Cartianu**, ing. **M. M. Dăncilă**, ing. **H. Furtunescu**, ing. **N. Georgian**, dr ing. **Gh. Luca**, dr. chim. **Maria Maftei**, ing. **B. Marcu**, dr. ing. **A. Măcriș**, ing. **I. Măiereanu** (redactor responsabil adjunct), dr. ing. **C. Mihăileanu** (redactor responsabil), prof. dr. doc. ing. **V. I. Nitu**, dr. ing. **E. Pavel**, dr. ing. **Th. Popa**, dr. ing. **C. I. Stoicu** (secretar de redacție).

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.311.22/23 : 621.313.322-81 :621.3.019.3

К. Моцоиу, К. Ионеску и *Фл. Алексе*: **Турбонасос питания на теплофикационных электростанциях с единицами большой мощности. Возможность надежность, своевременность.**

Представляются результаты исследований, предвиденных в Политехническом институте г. Бухареста, касающиеся возможностей введения турбонасоса питания на некоторые крупные теплофикационные электростанции нашей страны, которые приведут к значительным экономиям топлива и к существенному ограничению собственного технологического потребления.

Energetica 29 (1981), № 8, стр. 317 – 322

ДК 621.316.1 :621.3.016.45

Х. Крисчю и *М. Еремия*: **Минимизация потерь активной мощности посредством оптимизации компенсации реактивной мощности на электрических сетях.**

Представляется методология и алгорифм расчета для оптимизации величины и расположения источников реактивной мощности в электрической сети. Выбранная функция-объектив является функцией экономической эффективности, которая выражает значение расчетных годовых расходов. Метод расчетов использует множители Лагранжа, распространенные при условиях неравенства. В заключение, даются результаты, полученные применением вычислительной программы в случае промышленной электрической сети.

Energetica 29 (1981), № 8, стр. 322 – 327

ДК 621.3 :662.87.002.4 :614.84

Шт. Нибеляну и *Р. Попеску*: **Взрывы и пожары из-за угольной пыли на установках по подготовке угля.**

Рассматриваются общие, теоретические и экспериментальные, соображения касающиеся взрывчатости и воспламеняемости угольной пыли, а также решения, принимаемые для предупреждения и борьбы с эффектами взрывов.

Energetica 29 (1981), № 8, стр. 327 – 332

ДК 621.311.18 :621.34

П. Лауренциу: **Явление накачивания и предупреждение этого в эксплуатации осевых воздушных вентиляторов сгорания на котле 1035 т/час, на лигните.**

Представляется теоретическая обработка явления накачки на осевых вентиляторах, причины, приводящие к этому, а также и способы устранения.

Energetica 29 (1981), № 8, стр. 333 – 340

ДК 621.314.222 :538.3.004.64

К. Молдовяну, М. Маринеску Райу и *В. Манициу*: **Сравнительный анализ чувствительности главных методов детектирования повреждений, производимых электродинамическими усилиями в трансформаторах мощности.**

Представляется несколько из работ ICEMENERG относительно чувствительности детектирования повреждений,производимых электродинамическими усилиями, используя следующие методы: метод импульсов низкого напряжения, метод анализа ответа в частоте, метод измерения импеданса короткого замыкания и метод визуального анализа после выемки из каркаса.

Energetica 29 (1981), № 8, стр. 340 – 352

ДК 621.3.002.5 :621.317.61

П. Бухуш и *Г. Комэнеску*: **Точка зрения относительно определения остаточных значений.**

Показываются гипотезы и способы определения общего отношения расчета остаточного значения энергетических установок, представляя обобщение различных факторов, способных повлиять на расчет величины этого значения.

Energetica 29 (1981), № 8, стр. 353 – 356

ДК 621.3.046 :2 :662.046.2

Е. Шандру, И.К охут и *И. Сучиу*: **Аспекты использования геотермальных, вод в качестве первичного носителя в теплтообменниках.**

После представления характеристик геотермальных носителей, методов теплопередачи и типов теплообменников, представляются опытная установка, реализованная с этой целью, которая предлагает многочисленные возможности тестирования во времени на уровне источника, термодинамических параметров и расхода жидкости, а также и сопротивления на коррозию и отложения материалов и оборудований теплопередачи.

Energetica 29 (1981), № 8, стр. 356 – 360

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.311.22/23 :621.313.322-81 :621.3.019.3

C. Moţoiu, C. Ionescu und *Fl. Alexe* : **Die Speiseturbopumpe in Heizkraftwerken mit Hochleistungsblöcken. Anwendungsmöglichkeiten, Zweckmässigkeit, Betriebssicherheit**

Es werden die Ergebnisse der im Polytechnischen Institut Bukarest durchgeführten Forschungen über die Einführungsmöglichkeiten der Speiseturbopumpe in den grossen Heizkraftwerken aus unserem Lande vorgeführt; ihre Einführung führt zu bedeutenden Brennstoffersparnissen und zur Herabsetzung des technologischen Eigenverbrauchs.

Energetica 29 (1981), H. 8, S. 317 – 322

DK 621.316.1 :621.3.016.45

H. Crisciu und *M. Eremia* : **Die Verminderung der Verluste an Wirkleistung durch die Optimierung des Reaktivleistungsausgleichs in den Elektroenergienetzen**

Es werden eine Methode und ein Algorithmus zur Berechnung der Optimierung der Grösse und des Standortes der Reaktivleistungsquellen in einem Elektroenergienetz beschrieben. Als Zielfunktion wurde die ökonomische Wirtschaftlichkeitsfunktion ausgewählt, welche den Wert der jährlichen Berechnungsausgaben ausdrückt. Als Berechnungsmethode werden die auf Ungleichheitsbedingungen erweiterten Lagrange-Multiplizierer angewandt. Abschiessend werden die durch die Anwendung des Rechenprogrammes auf einem Industrienetz erzielten Ergebnisse angegeben.

Energetica 29 (1981), H. 8, S. 322 – 327

DK 621.3 :662.87.002.4 :614.84

St. Nibeleanu und *R. Popescu* : **Explosionen und Brand — ausgelöst durch Kohlebstaub in Kohlevorbereitungsanlagen**

Es werden allgemeine, theoretische Betrachtungen, sowie Versuchsergebnisse über die Explosionsfähigkeit und Entzündbarkeit des Kohlenstaubes angeführt und die Lösungen zur Bekämpfung der Explosionswirkungen gegeben.

Energetica 29 (1981), H. 8, S. 327 – 332

DK 621.311.18 :621.34

P. Laurenţiu : **Das Pumpen und seine Vorbeugung beim Betrieb der Axialventilatoren für Luft und Brenngasen beim Kessel mit 1035 t/h-Leistung auf Braunkohlen**

Es werden theoretische Betrachtungen über das Pumpen bei Axialventilatoren, seinen Ursachen und Vorbeugungsmöglichkeiten gebracht.

Energetica 29 (1981), H. 8, S. 333 – 340

DK 621.314.222 .538.3.004.64

C. Moldoveanu, M. Marinescu Raiu und *V. Manițiu*: **Vergleichende Analyse der Empfindlichkeit der wichtigsten Methoden zur Bestimmung der durch elektrodynamischen Beanspruchungen hervorgerufenen Beschädigungen bei Leistungstrafos**

Es werden einige im ICEMENERG durchgeführten Studien über die Empfindlichkeit der Bestimmung der durch elektrodynamischen Beanspruchungen hervorgerufenen Beschädigungen beschrieben. Dazu wurden folgende Methoden angewandt: die Tiefspannungsimpulse, die Frequenzanspruch-Analyse, das Messen der Kurzschlussimpedanz und die Sichtprüfung nach der Auseinanderlegung.

Energetica 29 (1981), H. 8, S. 340 — 352

DK 621.3.002.5 :621.317.61

P. Buhuș und *Gh. Comănescu*: **Ein Gesichtspunkt über die Bestimmung der remanenten Werte**

Es werden die Bestimmungshypothesen und -art für eine allgemeine Beziehung zur Berechnung der remanenten Werte in den Elektroenergieanlagen dargelegt, sowie eine Synthetisierung der verschiedenen Faktoren, welche die Berechnung der Grösse dieses Wertes beeinflussen.

Energetica 29 (1981), H. 8, S 353 — 356

DK 621.3.046 :662.046.2

E. Șandru, I. Cohut und *I. Suciu*: **Aspekte der Anwendung der geothermalen Gewässer als Hauptdurchflussmittel in den Wärmeaustauschern**

Nach einer Aufzählung der Kennwerte der geothermalen Mittel, der Wärmeaustauschmethoden und den entsprechenden Wärmeaustauschertypen wird die zu diesem Zweck gebaute Anlage beschrieben, welche die Durchführung vielfaltiger Dauer-Prüfungen erlauben, u.zw.: der Quelle, der thermodynamischen Parameter, der Durchflusswerte, sowie der Korrosions- und Ablagerungsbeständigkeit der Werkstoffe und der Ausrüstungen die einem Wärmeaustausch ausgesetzt sind.

Energetica 29 (1981), H 8, S. 356 — 360

SOMMAIRE

CD 621.311.22/23 :621.313.322-81 :621.3.019.3

C. Moțoiu, C. Ionescu et *Fl. Alexe*: **Turbopompe pour l'alimentation des centrales chaleur/force équipées avec des unités de grande puissance. Faisabilité, fiabilité, opportunité**

On montre les résultats des recherches effectuées par l'Institut polytechnique de Bucarest sur les possibilités qui existent pour implémenter la turbopompe d'alimentation dans quelques centrales chaleur/force de notre pays. Par l'application de ces possibilités peuvent résulter d'importantes économies de combustible, ainsi qu'une importante limitation de la consommation propre technologique.

Energetica 29 (1981), H. 8, S. 317 — 322

CD 621.316.1 :621.3.016.45

H. Criseiu et *M. Eremia*: **Diminution des pertes de puissance active par l'optimisation de la compensation de la puissance réactive dans les réseaux électriques**

Les auteurs présentent une méthodologie et un algorithme de calcul en vue de l'optimisation de la grandeur et de l'emplacement des sources de puissance réactive dans un réseau électrique. La fonction-objectif choisie est la fonction de l'efficience économique qui exprime la valeur des dépenses annuelles de calcul. La méthode de calcul utilise les multiplicateurs Lagrange étendus aux conditions d'inégalité. En guise de conclusion on donne les résultats obtenus à la suite de l'application du programme de calcul dans le cas d'un réseau électrique industriel.

Energetica 29 (1981), no. 8, p. 322 — 327

CD 621.3 :622·87.002.4 :614.84

St. Nibeleanu et *R. Popescu*: **Explosions et incendies dus à la poussière de charbon dans les installations de préparation du charbon**

On présente les considérations générales, théoriques et expérimentales, sur l'explosivité et l'inflammabilité de la poussière de charbon, ainsi que les solutions à prendre pour prévenir et combattre les effets des explosions.

Energetica 29 (1981), no. 8, p. 327 — 332

CD 621.311.18 :621.34

P. Laurențiu: **Le phénomène de pompage et sa prévention dans l'exploitation des ventilateurs axiaux d'air et des gaz de combustion à la chaudière de 1035 t/h pour le lignite**

L'article traite, du point de vue théorique, le phénomène de pompage aux ventilateurs axiaux, les causes qui conduisent à son apparition, ainsi que les modalités pour l'éviter.

Energetica 29 (1981), no. 8, p. 333 — 340

CD 621.314.222 :538.3.004.64

C. Moldoveanu, M. Marinescu Raiu et *V. Manițiu*: **Analyse comparative de la sensibilité des principales méthodes de détection des défauts produits par les efforts électrodynamigues dans les transformateurs de puissance**

On montre quelques préoccupations de l'ICEMENERG concernant la sensibilité de la détection des défauts produits par les efforts électrodynamiques, en utilisant les méthodes suivantes: les impulsions de basse tension, l'analyse de la caractéristique de fonctionnement aux diverses fréquences, la mesure de l'impédance en court-circuit et l'analyse visuelle après le découvage.

Energetica 29 (1981), no. 8, p 340 — 352

CD 621.3.002.5 :621.317.61

P. Buhuș et *Gh. Comănescu*: **Un point de vue concernant la détermination des valeurs rémanentes**

Les auteurs montrent les hypothèses et le mode de détermination d'une relation générale selon laquelle on peut calculer la valeur rémanente des installations énergétiques, en présentant une synthèse de divers facteurs capables d'influencer le calcul de la grandeur de cette valeur.

Energetica 29 (1981), no. 8, p. 353 — 356

CD 621.3.046.2 :662.046.2

E. Șandru, I. Cohut et *I. Suciu*: **Aspects de l'utilisation des eaux géothermales en tant qu'agent primaire dans les échangeurs de chaleur**

Après avoir présenté les caractéristiques des agents géothermiques, les méthodes de transfert de chaleur et les types d'échangeurs de chaleur, on décrit l'installation expérimentale réalisée à cette fin et qui offre plusieurs possibilités de tester, au niveau de la source, les paramètres thermodynamiques et le débit du fluide, ainsi que la résistance à la corrosion des matériaux et de l'équipement de transfert de chaleur.

Energetica 29 (1981), no. 8, p. 356 — 360

CONTENTS

DC 621.311.22/23 :621.313.322-81 :621.3.019.3

C. Moţoiu, C. Ionescu and *Fl. Alexe* : **Turbopump for Feeding the District Heating Power Plants with Large Power Units. Feasability, Reliability Opportunity**

The paper deals with the results of the researches obtained at the Polytechnical Institute Bucharest over the possibilities of the feeding turbine pump implementation in certain power plants of our country, a fact which would lead to important fuel savings as well as to the technological eigenconsumption limitation.

Energetica 29 (1981), nr. 8, p. 317 – 322

DC 621.316.1 :621.3.016.45

H. Crişciu and *M. Eremia* : **Minimization of the Active Power Losses by Reactive Power Compensation Optimization in the Electrical Networks**

A methodology and calculation algorithm for the extent and location optimization of the reactive power sources in an electrical network are presented. The objective function used is that of the economic efficiency expressing the value of the annual expenses calculation. The calculation procedure uses Lagrange multipliers extended to the inequality conditions. The results obtained after the calculation program application in the industrial electrical networks are finally given.

Energetica 29 (1981), nr. 8, p. 322 – 327

DC 621.3.662.87.002.4 :614.84

St. Nibeleanu and *R. Popescu* : **Explosions and Fires Due to the Coal Dust in the Coal Preparation Facilities**

General theoretical and experimental appreciations over the explosiveness and inflammability of the coal dust are exposed as well as the steps taken for preventing and fighting the explosion effects.

Energetica 29 (1981), nr. 8, p. 327 – 332

DC 621.311.18 :621.34

P. Laurenţiu : **The Pumping Phenomenon and its Prevention in the Axial Fans of the 1035 t/h Lignite Boiler for Air and Burning Gases**

The theoretical considerations of the pumping phenomenon at the axial fans, its generation causes as well as the prevention modalities are presented.

Energetica 29 (1981), nr. 8, p. 335 – 340

DC 621.314.222 :538.3.004.64

C. Moldoveanu, M. Marinescu Raiu and *V. Manifiu* : **Comparative Analysis of the Main Methods Sensitivity Used for Detecting the Damages Caused by Electrodynamic Stresses in Power Transformers**

The paper deals with some researches carried out at ICEMENERG regarding the sensitivity of the damages detection inferred by electrodynamic stresses, using the following methods: the low tension impulses method, the frequency response analysis method, the measurement method of the short-circuit impedance and the visual analysis method after decasing.

Energetica 29 (1981), nr. 8, p. 340–352

DC 621.3.002.5 :621.317.61

P. Buhuş and *Gh. Comănescu* : **A Point of View on the Remanent Values Determination**

The hypothese and the manner of determining a general relation for calculating the remanent value of the energetical installations are dealt with. The author synthesises different factors affecting the calculation of this value.

Energetica 29 (1981), nr. 8, p. 353 – 356

DC 621.3.046.2 :662.046.2

E. Şandru, I. Cohut and *I. Suciu* : **Aspects Concerning the Geothermal Waters Utilization, as Primary Agent in the Heat Exchangers**

After a brief survey of the geothermal agents characteristics of the heat transfer methods and of the corresponding types of heat exchangers, the plant built for this purpose is presented, which offers many possibilities of long duration testing of the source, its thermodynamic parameters, the fluid flow as well as the corrosion and deposits resistance of materials and the heat transfer equipment.

Energetica 29 (1981) nr. 8, p. 356–360

Turbopompa de alimentare în CET urbane cu unități de mare putere. Fezabilitate, fiabilitate, oportunitate*)

Conf. dr. ing. **Costin Moțoiu**,
șef lucrări dr. ing. **Cezar Ioneșcu**,
șef lucrări dr. ing. **Florin Alexe****)

1. Condiții generale de folosire a turbopompelor de alimentare (TPA)

Utilizarea turbinei cu abur ca mașină de antrenare a pompelor de mare putere este o soluție cunoscută și răspîndită în tehnică, datorită următoarelor avantaje:

— turație de lucru ridicată, permițînd antrenarea fără amplificator de turație și realizarea grupului turbină-pompă cu lungimi reduse, diametre mici și consumuri reduse de material;

— scurtare a lanțului de transformări energetice în comparație cu soluția antrenării cu motor electric (aceasta conduce la sporirea randamentului de pompare, dacă puterea unitară a turbinei de antrenare depășește 4—5 MW, astfel ca randamentul ei intern să se apropie de cel al turbinei principale);

— reglare foarte bună a mașinii antrenate, prin variația turației, ceea ce asigură randamente mari și la sarcini parțiale;

— fiabilitate ridicată a turbinei cu abur ca mașină de antrenare.

În CTE și CET cu abur, pompa de alimentare reprezintă consumatorul tehnologic principal de energie, atît ca mărime, cît și ca necesitate a asigurării continuității în alimentare (în special la cazanele cu circulație forțată unică). Soluția antrenării acesteia cu turbină de condensație este utilizată curent pe plan mondial și în țara noastră, la blocuri de condensație cu putere unitară peste 200 MW și presiuni ale aburului viu peste 14 MPa, la care puterea necesară pentru pomparea întregului debit de apă de alimentare a blocului depășește 4,5 — 5 MW.

Interesul pentru antrenarea pompelor de alimentare cu turbine poate apărea și la centralele de termoficare mari, dacă unitățile de pompare ating puterile menționate mai sus.

Acest interes este evidențiat de raportul mai ridicat dintre energia de pompare, E_p, și cea produsă la bornele generatorului, E_B, datorită debitelor specifice de abur viu mai mari la CET față de CTE (fig. 1).

În plus, la CET apare posibilitatea folosirii de turbine de antrenare cu contrapresiune, cu livrarea aburului către consumatorii termici. Turbina cu condensație este mai puțin indicată deoarece majorează căldura evacuată la condensator, defavorizînd termoficarea.

Posibilitatea de instalare de turbopompe diferă mult, după schema CET (cu bare colectoare de abur sau bloc) și după cerințele consumatorilor termici. Mai jos sînt sintetizate rezultatele

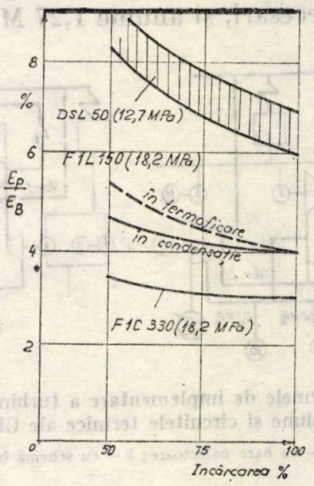


Fig. 1. Consumul de energie al pompelor de alimentare, E_p, raportat la producția de energie la borne, E_B, pentru unități de condensație și termoficare.

cercetărilor efectuate în Institutul politehnic București asupra posibilităților de implementare a TPA în unele centrale de termoficare mari din țara noastră.

2. Turbopompele în CET cu bare colectoare

Aceste instalații folosesc în general cazane de tip TGM-84 de 420 t/h și 13,7 MPa și electropompe de alimentare (EPA) de 500 m³/h de tip EP 500—180 funcționînd la turație constantă (2940 rot/min), cu reglajul debitului prin laminare.

Ținînd seama de posibilitatea prezentă de a construi în țară turbine cu contrapresiune cu puteri de 4,5—6 MW cu presiunea de intrare a aburului în turbină de 12,7 MPa (corespunzînd debite de abur de 40—60 t/h), după studii preliminare, analiza s-a orientat către racordarea turbinelor de antrenare la colectorul de abur viu al CET, ceea ce oferă avantajele siguranței maximale în alimentarea cu abur și ale creșterii semnificative a capacității de producere de energie în termoficare.

Ținînd seama de numărul mare de cazuri la care se poate aplica soluția de folosire a TPA, s-a considerat necesară limitarea numărului de tipodimensiuni astfel:

— două trepte de debit la pompe, 640 t/h (două pompe la 3 cazane) și 850 t/h (o pompă la 2 cazane), acestora corespunzîndu-le două trepte de putere nominală a turbinelor 4,3 și 5,7

*) Comunicare prezentată la a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din România. Brașov, 4—6 dec. 1980.

**) Autorii sînt cadre didactice la Institutul politehnic București.

MW, respectiv puteri maxime de 4,8 și 6,4 MW. Debitul pompei de 450 t/h, aferent unui singur cazan, iese din discuție, din motive de fezabilitate, de randament redus și de necompetitivitate tehnică a unei turbine de antrenare de 3 MW;

— o singură turație nominală pentru grupul turbină-pompă, 5100 rot/min, respectiv 1530 rot/min la pompa de prealimentare;

— două niveluri de contrapresiune (vezi fig. 2 *a*), corespunzător valorilor uzuale ale parametrilor necesari, și anume 1,27 MPa la termoficarea industrială (indicativ DKS) și 0,115 MPa la termoficarea urbană (indicativ DKL).

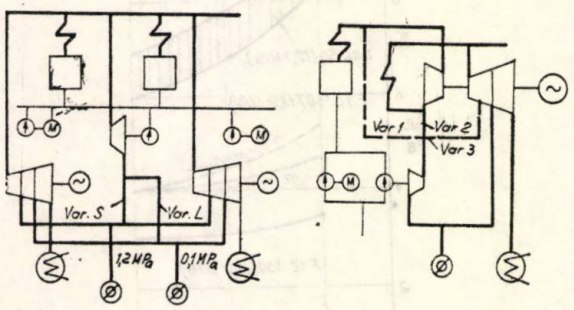


Fig. 2. Schemele de implementare a turbinei cu contrapresiune și circuitele termice ale CET.

a — cu bare colectoare; *b* — cu schemă bloc.

În mod excepțional poate apărea ca necesară o turbină cu contrapresiune de 0,7 MPa (indicativ DKR).

Au rezultat astfel două tipuri de pompe și cinci turbine de antrenare, prin combinarea cărora se pot satisface majoritatea situațiilor.

Pompele folosibile ar fi de tip centrifugal, cu trei trepte de pompare la pompa de 640 t/h și patru la cea de 850 t/h, avînd și pompă înaintașă.

Turbinele se propun a se realiza cu o primă treaptă Curtis pentru reglajul încărcării (turației) prin admisie și trepte de presiune cu reacție 50%, fără prize, într-un singur corp și cu carcasă simplă. Turația ridicată, lipsa prizelor și folosirea reacției ridicate vor permite obținerea unui randament intern mai mare decît cel al turbinelor energetice cu contrapresiune, cu reacție redusă, la $n = 3000$ rot/min și puteri similare, apropiind randamentele interne ale turbinelor de antrenare de cele ale turbinelor principale de 50—100 MW, avînd prize fixe și reglabile și trepte de presiune cu reacție redusă.

Datorită acestui fapt, produsul de randamente în lanțul de transformări la TPA ($\eta_{i\ turbină\ TPA} \cdot \eta_{m\ turbină\ TPA} \cdot \eta_{pompă\ TPA}$) devine mai mare ca cel de la lanțul de transformări necesare la antrenarea electrică:

$$(\eta_{i\ turbină\ principală} \cdot \eta_{m\ turbină\ princip.} \cdot \eta_{gen} \cdot \eta_{trafo\ s.p.} \cdot \eta_{mot.\ el.} \cdot \eta_{KH} \cdot \eta_{pompă\ EPA}).$$

Se îndeplinește astfel condiția:

$$\frac{\eta_{i\ turbină\ TPA}}{\eta_{i\ turbină\ princip.}} \cdot \frac{\eta_{mec.\ turbină\ principală}}{\eta_{mec.\ turbină\ TPA}} \cdot \frac{\eta_{pompă\ EPA}}{\eta_{pompă\ TPA}} \cdot \frac{1}{\eta_{gen} \cdot \eta_{trafo\ sp.} \cdot \eta_{mot.\ el.} \cdot \eta_{KH}}$$

În funcție de regimurile de consum de căldură, apar două cazuri limită de funcționare a TPA (tabelul 1).

În situația intermediară, în care debitul de abur destins în TPA înlocuiește doar parțial IRR sau CAF, restul fiind preluat prin ocolirea turbinei principale, economia de combustibil va fi mai redusă decît în cazul 1 și mai mare decît în cazul 2.

Datorită faptului că economia de combustibil realizată depinde mult de regimul de funcționare a TPA, calculele de eficiență tehnică nu se pot efectua pe cazuri generale, ci numai prin analize concrete, pornind de la regimurile reale din exploatare. În 1979 și 1980, Institutul politehnic București a efectuat cinci astfel de analize de caz, la CET București-Sud și CET Brazi (în 1979), respectiv CET Palas (etapa cu bare colectoare), CET Galați și CET Grozăvești.

În lucrare s-au folosit datele de exploatare ale acestor CET pe perioada 1975—1978, respectiv 1976—1979, trasîndu-se curbe clasate ale producției de abur viu și de căldură, cu ajutorul cărora s-au stabilit regimurile caracteristice de funcționare și durata acestora. S-au determinat astfel nivelurile termice la care apare — în

Tabelul 1

Nr. crt.	Condiții de consum de căldură	Încadrarea TPA	Consecințe tehnice
1	Consumul depășește capacitatea de livrare din prizele turbinelor principale și există disponibil de abur viu	Înlocuire de IRR (la TPA cu P_K = = 1,27 MPa, sau $P_k = 0{,}7$ MPa) sau înlocuire de CAF (la TPA cu P_k = = 0,115 MPa)	Importante reduceri de consum de combustibil prin creșterea indicelui de termoficare
2	Consumul poate fi acoperit din turbinele principale și / sau nu există disponibil de abur viu	Preluarea unei cote de abur ce s-ar fi putut destinde în turbina principală	Reduceri mici ale consumului de combustibil, datorită micșorării pierderilor în lanțul de transformări față de EPA

anumite perioade — un deficit mai mare de căldură față de posibilitatea de livrare de abur din turbina principală, acestea fiind interesante pentru a fi alimentate cu abur de la evacuarea din turbinele turbopompelor.

La CET București-Sud s-a constatat că un număr relativ mare de ore anual, consumul de abur de pe bară de 0,7 MPa nu poate fi acoperit din turbina VPT-50—4, fiind necesar să se funcționeze cu IRR de 1,27 MPa/0,7 MPa și 13,7 MPa/1,27 MPa, rezultînd astfel interesant ca presiunea la contrapresiunea TPA să fie $P_k = 0{,}7$ MPa.

La CET Brazi și la CET Galați, la care nu este caracteristică alimentarea prin IRR a barelor de 1,27 MPa și 0,7 MPa, prezintă interes soluțiile la care turbinele cu contrapresiune să debiteze abur de 0,11 MPa, înlocuind iarna o cotă din căldura livrată prin CAF.

În cazul CET Palas (etapa cu bare colectoare) la care bara de 1,27 MPa este permanent supraîncărcată în raport cu posibilitățile de livrare din turbinele principale, s-a optat pentru o turbină cu contrapresiune la acest nivel.

CET Grozăvești (etapa nouă), neavînd practic consumator industrial, oferă o singură soluție de TPA, cea cu contrapresiune la nivelul de consum urban.

Au rezultat astfel soluțiile de echipare optime tehnic, din tabelul 2.

Tabelul 2

Centrala	Soluția de echipare optimă tehnic	
	Pompe	Turbine
București-Sud	2× 850 t/h	2× DKR 5,7
Brazi	2× 850 t/h	2× DKL 5,7
	2× 640 t/h	2× DKS 4,3
Palas	1× 850 t/h	1× DKS 5,7
Galați	2× 850 t/h	2× DKL 5,7
Grozăvești	1× 640 t/h	1× DKL 4,3

Calculele de estimare a eficienței economice a introducerii TPA, efectuate în ipoteza menținerii în viitor a acelorași regimuri caracteristice de livrare de căldură, au demonstrat că durata de recuperare a investiției suplimentare din reducerea de cheltuieli cu combustibilul, este în patru din cele cinci cazuri mai redusă ca termenul normat (vezi și tabelul 3). CET Grozăvești, cu debit redus de abur viu, s-a dovedit nepotrivită economic pentru implementarea TPA.

De menționat că economia de combustibil în sistemul energetic național s-a calculat dezavantajînd soluția cu TPA, prin următoarele ipoteze acceptate:

— regimurile caracteristice de încărcare termică a CET în viitorii ani vor rămîne practic aceleași ca cele din anii 1977—1978;

— la funcționarea cu EPA la sarcini parțiale se menține în funcțiune numărul minim de EPA pentru pomparea debitului de apă de alimentare al întregii centrale.

Economia de combustibil la funcționarea cu TPA se realizează în principal prin micșorarea pierderilor în lanțul de transformări energetice față de TPA, dar există și un număr de ore pe an cînd TPA înlocuiesc IRR sau CAF. Tendința de creștere a consumului de căldură din CET București-Sud, CET Brazi, CET Palas și CET Galați mărește sensibil economicitatea TPA, prin faptul că se lungește perioada în care acestea înlocuiesc IRR sau CAF. În plus, în regimurile reale de exploatare a EPA, în multe cazuri numărul de EPA menținute în funcțiune este cu una în plus față de nevoi, fapt ce reduce randamentul și mărește pierderile prin laminarea apei.

Ținînd seama și de aceste ultime două aspecte, se ajunge la o economie de combustibil de peste 8000 t c.c./an la CET București-Sud, peste 20 000 t c.c./an la CET Brazi, peste 3300 t c.c./an la CET Palas și peste 8500 t c.c./an la Galați, ceea ce reduce mult termenul de recuperare în cazul acestor CET.

De menționat că și în calculul economic soluția cu TPA a fost dezavantajată de faptul că nu s-au scăzut investițiile de echivalare în sistem și nici valoarea EPA dezafectate ce ar putea fi refolosite; rezultă că termenul real de recuperare a investiției în TPA este sensibil redus față de cel din tabelul 3.

În concluzie, pentru cele patru centrale de termoficare la care analiza tehnico-economică a demonstrat eficiența TPA, se deduce:

1. Introducerea de turbopompe de alimentare la centralele București-Sud, Brazi, Palas și Galați este justificată pe baza economiei de combustibil în sistemul energetic.

2. Soluția folosirii de TPA este superioară introducerii de cuple hidraulice la actualele pompe de alimentare cu turație constantă deoarece:

— aduce o economie de combustibil aproape dublă față de aplicarea de cuple hidraulice;

— poate fi realizată cu utilaje asimilabile în țară, în timp ce cuplele hidraulice sînt din import.

3. Folosirea turbopompelor reduce consumul propriu tehnologic de energie electrică din CET cu cel puțin 20%, micșorînd indicele de consum specific de combustibil convențional mediu anual între 1,5 și 2 puncte.

4. Folosirea turbopompelor mărește puterea efectiv disponibilă în anumite perioade ale anului, în principal în cele cu sarcini termice ridicate.

5. Problema principală în implementarea TPA la CET existente o constituie dispoziția în sala mașinilor, astfel încît să se înlocuiască un număr minim de EPA existente.

Tabelul 3

Rezultatul analizei tehnico-economice la nivelul sistemului energetic național

	Mărimea	U.M.	Valoarea numerică pentru diferite CET					
			Buc—Sud	Brazi	Palas I	Galați	Grozăvești	Palas II
1	Investiții totale în CET	mil. lei	31,5	59	15	32,5	15,7	9,6
2	Economie de combustibil în sistemul energetic național	min. / max. tc.c./an	3500 4200	6600 20000	2700 4900	7800 8500	600 1000	1800 2250
3	Reducerea cheltuielilor cu combustibilul în sistemul energetic național	min. Pcc=1650 lei/tc.c. / max. Pcc = 1950 lei/tc.c. mil. lei/an	5,775 8,19	10,89 39	4,455 9,555	12,87 16,58	0,99 1,95	2,97 4,3875
4	Durata de recuperare a investiției suplimentare din reducerea de cheltuieli cu combustibilul	min. / max. ani	5,45 3,85	5,42 1,51	3,36 1,57	2,53 1,96	peste 12,5 ani 8,05	3,25 2,2
5	Recomandare pentru implementare TPA		DA	DA	DA	DA	NU	DA

6. Funcționarea cu TPA aduce, conform calculelor de la pct. 4, avantaje din punctul de vedere al indicilor de fiabilitate. În plus, funcționarea cu TPA îmbunătățește condițiile de insularizare și, totodată, micșorează puterea necesară a fi absorbită din sistemul energetic în momentul pornirii unui grup din CET.

3. TPA în CET cu schemă bloc

În etapa de cercetare din 1980 s-a extins analiza de oportunitate a implementării TPA la blocurile de termoficare urbană cu supraîncălzire intermediară, cu aplicație la blocul de fabricație românească FIL-150. Posibilitățile teoretice de implementare a TPA sînt redate în figura 2 *b*.

Principalele concluzii referitoare la acest bloc sînt:

— soluția optimă termodinamic și economic de implementare a TPA în această situație, este cea cu turbină cu abur cu contrapresiunea la boilerul de bază (0,13 MPa) și alimentată cu abur de priză din CMP (2,1 MPa);

— deoarece soluția actuală a blocului FIL-150 este 2 × 100% EPA, nu este nevoie pentru TPA de o nouă pompă de alimentare, ci se înlocuiește numai mașina de antrenare și se prevede un reductor pentru pompa înaintașă;

— soluția 1 × 100% TPA + 1 × 100% EPA este mai fiabilă decît cea actuală — 2 × 100% EPA;

— datorită scăderii simultane a debitului pompat și a presiunii aburului de priză, sistemul optim de reglare a turbinei TPA este de tip „laminare", funcționarea TPA la sarcini parțiale fiind asigurată pînă la debitul minim al cazanului;

— implementarea TPA în CET Palas cu schemă bloc și în alte CET la care blocul FIL-150 a fost proiectat cu EPA este condiționată de acordul proiectantului și constructorului turbinei (IMGB și ICSITEEMR) pentru prelevarea suplimentară a circa 36 t/h abur de la priza de 2,1 MPa;

— la CET în proiectare se recomandă reproiectarea blocului FIL-150 pentru a permite utilizarea TPA fără supraîncărcări ale prizelor;

— economia anuală de combustibil în cazul CET Palas—etapa cu schemă bloc — este de cel puțin 1800 t c.c./an, ducînd la o recuperare a investiției suplimentare în maximum 3,5 ani.

Realizarea în țară a echipamentului necesar implementării TPA în CET este posibilă. Analiza preliminară indică posibilitatea construirii turbinelor cu contrapresiune, pornind de la licențele de construcții, componentele tipizate, profilele de palete existente și de la o proiectare pentru care există cadru organizatoric și experiență. De asemenea, este posibilă și construirea pompelor pentru CET cu bare colectoare, pornind de la documentația tehnică a pompelor construite pentru blocul de 330 MW, însă în acest domeniu sînt de luat măsuri pe linie organizatorică.

4. Fiabilitatea alimentării cu apă a cazanelor din CET

Din punctul de vedere al fiabilității alimentării cu apă a cazanelor din centralele electrice de termoficare, în prezent se folosesc soluțiile:

— pentru CET urbane şi industriale avînd scheme cu bară colectoare se aleg $n + 1$, $n + 2$ EPA (n — numărul cazanelor din centrală);

— pentru CET urbane şi industriale cu grupuri cu supraîncălzire intermediară (schemă bloc), pompele se aleg pe blocuri, folosindu-se în special varianta 3 × 50% EPA.

Înlocuirea sistemului actual bazat pe folosirea electropompelor de alimentare, cu cel folosind turbopompe ridică următoarele probleme legate de fiabilitatea alimentării cu apă:

— introducerea turbopompelor necesită trecerea de la un număr mare de pompe de alimentare la un număr mai mic, crescînd debitul instalat pe pompe, sau avarierea unei pompe măreşte debitul probabil indisponibil şi deci apar probleme noi privind alegerea debitului rezervat;

— în ţara noastră pompele solicitate pentru CET existente, precum şi turbopompele sînt echipamente în curs de asimilare, a căror fiabilitate este puţin cunoscută. Aceasta impune alegerea unui nivel de risc mai redus cel puţin pentru primele centrale;

— se poate constitui ca debit instalat de rezervă debitul electropompelor vechiului sistem de alimentare, în măsura în care acestea nu au fost total dezafectate din considerente de spaţiu pentru noile pompe sau de recuperare a investiţiei. Este mai logic ca rezerva de debit să fie constituită din vechile EPA, pentru a nu se face cheltuieli suplimentare;

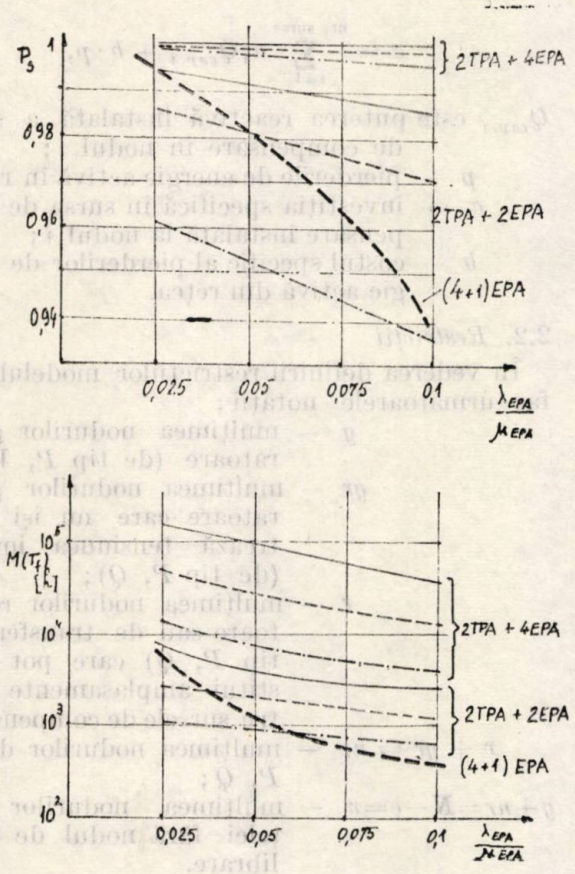
— se simplifică ansamblul conductelor aferente alimentării cu apă, prin reducerea numărului pompelor, însă apar echipamente noi, aferente turbinelor de antrenare;

— Emitenţa unui număr mai mic de pompe de alimentare în funcţiune, mai mic decît numărul cazanelor, va influenţa mult mai mult stabilirea rezervei din punctul de vedere al reparaţiilor şi reviziilor planificate. Dacă pînă acum oprirea unei pompe afecta un cazan, oprirea unei TPA afectează unul sau mai multe cazane şi din rezerva cu EPA se reduce în valoare relativă mult mai mult.

Pornind de la aceste considerente, în etapa actuală concepţia privind înlocuirea EPA cu TPA are drept criteriu principal menţinerea fiabilităţii şi elasticităţii vechiului sistem (în cazul cel mai pesimist).

În acest scop s-au calculat indicatorii de fiabilitate pentru sistemul cu TPA faţă de cel cu EPA pentru o serie de centrale existente, avînd ca parametri de optimizat mărimea rezervei în EPA şi nivelul de fiabilitate (intensitatea de avariere) al TPA.

În figura 3 se prezintă principalii indicatori de fiabilitate (probabilitatea realizării debitului nominal, timpul mediu de asigurare neîntre-



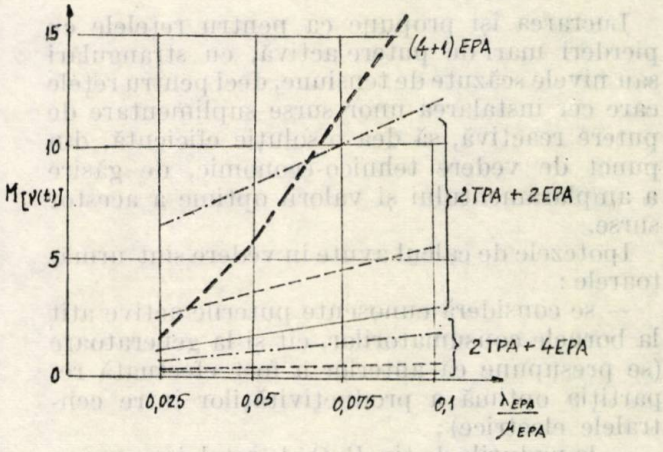


Fig. 3. Comparaţia indicatorilor de fiabilitate la funcţionarea CET Bucureşti-Sud cu turbopompe sau cu electropompe, în funcţie de numărul de rezerve şi de calitatea echipamentului.

——— 4 avarii pe an la turbopompe; — — — 8 avarii pe an la turbopompe; —.—. 16 avarii pe an la turbopompe; — — — funcţionare numai cu electropompe, 4 active şi una de rezervă.

ruptă a debitului nominal, numărul mediu de întreruperi ale debitului nominal) pentru CET București-Sud.

Dacă se adoptă soluția 2 TPA + 4 EPA, față de 4 + 1 EPA, sistemul este mai fiabil, indiferent de indicatorii de fiabilitate uzuali ai EPA și TPA.

Varianta 2 TPA + 2 EPA este competitivă cu 4 × 1 EPA pentru o fiabilitate a TPA avînd cel mult 4 avarii/an.

Pentru un nivel de rezervă mai redus sau pentru fiabilitate mai scăzută a TPA, soluția este dependentă de fiabilitatea EPA.

Concluzii

Folosirea de turbopompe de alimentare cu contrapresiune, în condițiile actuale de preț ale combustibilului și ale valorii reduse a coeficientului de termoficare, apare ca o măsură fezabilă și rațională la centralele de termoficare de putere mare.

Măsura conduce la importante economii de combustibil și la o substanțială limitare a consumului propriu tehnologic.

Implementarea măsurii necesită însă :

1. Asimilarea în producția CIUEMMR a turbinelor cu contrapresiune și a pompelor de alimentare corespunzătoare.

2. Stabilirea prin proiecte de detaliu a posibilităților concrete de amplasare în sălile de mașini existente cu dezafectarea unui număr minim de electropompe.

3. Este util ca ISPE să prevadă generalizarea și la noile investiții (proiectele-tip cu grupuri DSL-50).

Reducerea consumurilor proprii tehnologice în rețelele electrice

Minimizarea pierderilor de putere activă prin optimizarea compensării puterii reactive în rețelele electrice

ing. **Horia Crișciu**
și dr. ing. **Mircea Eremia***)

1. Punerea problemei. Ipoteze de calcul

Lucrarea își propune ca pentru rețelele cu pierderi mari de putere activă, cu strangulări sau nivele scăzute de tensiune, deci pentru rețele care cer instalarea unor surse suplimentare de putere reactivă, să dea o soluție eficientă, din punct de vedere tehnico-economic, de găsire a amplasamentului și valorii optime a acestor surse.

Ipotezele de calcul avute în vedere sînt următoarele :

— se consideră cunoscute puterile active atît la bornele consumatorilor, cît și la generatoare (se presupune că anterior a fost efectuată repartiția optimă a productivităților între centralele electrice) ;

— la nodurile de tip P, Q ale rețelei se cunosc puterile reactive nodale, iar la nodurile de tip P, V se cunosc limitele admisibile pentru puterea reactivă, limite în care nodul respectiv își poate păstra tensiunea impusă ;

— la nodurile de tip P, V și la nodul de echilibrare se cunoaște valoarea modulului tensiunii ;

— ca amplasamente pentru sursele de putere reactivă suplimentare vor fi luate în considerare toate nodurile rețelei, cu excepția nodurilor de tip P, V ;

— ca surse de putere reactivă pot fi luate în considerare atît bateriile de condensatoare, cît și compensatoarele sincrone.

2. Modelul matematic

2.1. *Funcția obiectiv*

Pentru funcția de eficiență se va adopta relația :

$$z = \sum_{i=1}^{\text{nr. surse}} a_i Q_{cap.\,i} + b \cdot p, \qquad (1)$$

$Q_{cap.\,i}$ este puterea reactivă instalată a sursei de compensare în nodul i ;
p — pierderile de energie activă în rețea ;
a_i — investiția specifică în sursa de compensare instalată la nodul i ;
b — costul specific al pierderilor de energie activă din rețea.

2.2. *Restricții*

În vederea definirii restricțiilor modelului se fac următoarele notații :

g — mulțimea nodurilor generatoare (de tip P, V) ;
gr — mulțimea nodurilor generatoare care nu își păstrează tensiunea impusă (de tip P, Q) ;
r — mulțimea nodurilor receptoare sau de transfer (de tip P, Q) care pot constitui amplasamente pentru sursele de compensare ;
$r + gr = nr$ — mulțimea nodurilor de tip P, Q ;
$g + nr = N - e = n$ — mulțimea nodurilor rețelei fără nodul de echilibrare.

*) Ing. Horia Crișciu este cercetător în cadrul Institutului politehnic București ; dr. ing. Mircea Eremia este șef de lucrări la Institutul politehnic București.

Ţinînd seama de aceste notaţii, restricţiile modelului matematic se pot scrie :

$$\mathrm{Re}\left[\underline{U}_i \sum_{k\in N} \underline{Y}^*_{ik}\underline{U}^*_k\right] = P_i^{imp}\,; \qquad i \in n$$

$$I_m\left[\underline{U}_i \sum_{k\in N} \underline{Y}^*_{ik}\underline{U}^*_k\right] = Q_i^{imp}\,; \qquad i \in gr$$

$$I_m\left[\underline{U}_i \sum_{k\in N} \underline{Y}^*_{ik}\underline{U}^*_k\right] = Q_i^{imp} + Q_{cap.i}\,; \qquad i \in r \tag{2}$$

$$|\underline{U}_i| = |\underline{U}_i|^{imp} \qquad i \in g$$

$$Q_i^{min} \leqslant Q_i \leqslant Q_i^{max} \qquad i \in g$$

$$|\underline{U}_i|^{min} \leqslant |\underline{U}_i| \leqslant |\underline{U}_i|^{max} \qquad i \in nr$$

2.3. *Rezolvarea problemei*

Modelul matematic descris mai sus este un model de programare neliniară cu restricţii. Pentru rezolvare se va apela la metoda multiplicatorilor lui Lagrange prelungită la probleme cu restricţii de tip inegalitate.

Expresia lagrangeanului este de forma :

$$\mathfrak{L} = \Gamma(|\underline{U}_i|, Q_i, P_i, Q_i, Q_{cap.i}) =$$

$$= \sum_{i=1}^{\text{nr. surse}} a_i Q_{cap.i} + b \cdot p + \sum_{i\in n} \lambda_i (P_i - P_i^{imp}) +$$

$$+ \sum_{i\in gr} \mu_i (Q_i - Q_i^{imp}) + \sum_{i\in r} \mu_i (Q_i - Q_i^{imp} - Q_{cap.i}) +$$

$$+ \sum_{i\in nr} \alpha_i (|\underline{U}_i| - |\underline{U}_i|^{max}) + \sum_{i\in nr} \beta_i (|\underline{U}_i|^{min} - |\underline{U}_i|) \tag{3}$$

Soluţia problemei, respectiv amplasamentul şi valoarea optimă a compensatoarelor în reţea se va afla anulîndu-se derivatele lagrangeanului în raport cu variabilele problemei.

Se obţin următoarele ecuaţii :

$$\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial |\underline{U}_i|} = 0 \qquad i \in nr$$

$$\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \theta_i} = 0 \qquad i \in n$$

$$\frac{\partial \mathfrak{L}}{Q_{cap.i}} = 0 \qquad i \in r$$

$$\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \lambda_i} = 0 \qquad i \in n$$

$$\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \mu_i} = 0 \qquad i \in nr \tag{4}$$

Prin explicitarea derivatelor parţiale se obţin următoarele expresii :

$$\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial |\underline{U}_i|} = \sum_{j\in n-i} \lambda'_j C_{ij} |\underline{U}_j| + \lambda'_i \Big(2G_{ii}|\underline{U}_i| +$$

$$+ \sum_{k\in N-i} C_{ik}|\underline{U}_k|\Big) - \sum_{j\in nr-i} \mu_j D_{ji}|\underline{U}_j| -$$

$$- \mu_i \left(2B_{ii}|\underline{U}| + \sum_{k\in N-i} D_{ik}|\underline{U}_k|\right) +$$

$$+ b\, C_{ei}|\underline{U}_e| - (\alpha_i - \beta_i) = 0\,; \qquad i \in nr \tag{5}$$

$$\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \theta_i} = \sum_{j\in N-} \lambda'_j D_{ji}|\underline{U}_j| - \lambda_i \sum_{k\in N-i} D_{ik}|\underline{U}_k| +$$

$$+ \sum_{j\in nr-i} \mu_j C_{ji}|\underline{U}_j| - \mu_i \sum_{k\in N-i} C_{ik}|\underline{U}_k| +$$

$$+ b\, D_{ei}|\underline{U}_e| = 0\,; \qquad i \in n \tag{6}$$

$$\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial Q_{cap.i}} = b \sum_{k\in r} M_{ik} Q_{cap.k} + b \sum_{k\in nr} M_{ik} Q_k^{imp} -$$

$$- b \sum_{k\in n} N_{ik} P_k^{imp} + b\, N_i - \mu_i + a_i = 0\,; \qquad i \in r \tag{7}$$

$$\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \lambda_i} = P_i - P_i^{imp} = 0 \qquad i \in n \tag{8}$$

$$\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \mu_i} = Q_i - Q_i^{imp} = 0 \qquad i \in gr \tag{9}$$

$$\frac{\partial \mathfrak{L}}{\partial \mu_i} = Q_i - Q_i^{imp} - Q_{cap.i} = 0 \qquad i \in r \tag{10}$$

unde

$$\lambda' = \lambda + b$$

$$C_{jk} = B_{jk} \sin(\theta_j - \theta_k) + G_{jk} \cos(\theta_j - \theta_k)$$

$$D_{jk} = B_{jk} \cos(\theta_j - \theta_k) + G_{jk} \sin(\theta_j - \theta_k)$$

Prin G_{jk} şi B_{jk} se notează partea reală, respectiv imaginară a elementului $\underline{Y}_{jk}$ al matricei admitanţelor nodale ale reţelei.

Pentru a calcula derivatele parţiale în raport cu capacităţile $Q_{cap.i}$, pierderile de putere din relaţia (3) a lagrangeanului se exprimă în funcţie de termenii matricei impedanţelor nodale:

$$p = \frac{1}{2}\sum_{i\in n}\sum_{k\in n} M_{ik}(P_iP_k + Q_iQ_k) +$$

$$+\frac{1}{2}\sum_{i\in n}\sum_{k\in n} N_{ik}(P_iQ_k - P_kQ_i) +$$

$$+\sum_{i\in n} M_iP_i \sum_{i\in n} N_iQ_i + Y'_e|\underline{U}_e|^2 \qquad (11)$$

în care

$$M_{ik} = \frac{1}{|\underline{U}_i|\,|\underline{U}_k|}[(R_{ik} + R_{ki})\cos(\theta_i - \theta_k) +$$

$$+ (X_{ik} - X_{ki})\sin(\theta_i - \theta_k)]$$

$$N_{ik} = \frac{1}{|\underline{U}_i|\,|\underline{U}_k|}[(X_{ik} - X_{ki})\cos(\theta_i - \theta_k) -$$

$$- (R_{ik} + R_{ki})\sin(\theta_i - \theta_k)]$$

$$M_i = 2\frac{|\underline{U}_e|}{|\underline{U}_i|}(C'_{ei}\cos\theta_i + C''_{ei}\sin\theta_i)$$

$$N_i = 2\frac{|\underline{U}_e|}{|\underline{U}_i|}(C'_{ei}\sin\theta_i - C''_{ei}\cos\theta_i)$$

$$C'_{ei} + jC''_{ei} = \frac{1}{2}\sum_{k\in n}(\underline{Y}^*_{ek}\underline{Z}^*_{ki} - \underline{Y}_{ke}\underline{Z}_{ik})$$

$$Y'_e = \mathrm{Re}\left\{\underline{Y}_{ee} - \sum_{i\in n}\sum_{k\in n}\underline{Y}_{ei}\underline{Z}_{ik}\underline{Y}_{ke}\right\},$$

unde

e este indicele referitor la nodul de echilibru;
$\underline{Z}_{ik} = R_{ik} + jX_{ik}$ — elementul $i-k$ al matricei impedanţelor nodale ale reţelei.

3. Algoritmul de calcul

Pentru rezolvarea problemei se parcurg următoarele etape:

1. Se pregătesc datele de intrare: configuraţia reţelei, caracteristicile laturilor (linii sau transformatoare), puteri nodale, tensiuni nodale iniţiale.

2. Se calculează elementele matricelor admitanţelor şi impedanţelor nodale ale reţelei.

3. Se rezolvă ecuaţiile (8), (9), (10), care caracterizează regimul permanent al reţelei.

4. Se rezolvă ecuaţiile (5) şi (6) pentru aflarea multiplicatorilor lui Lagrange, λ' şi μ.

5. Se rezolvă ecuaţiile (7) şi se determină valoarea şi amplasamentul surselor de compensare Q_{cap}.

6. Se verifică testul de convergenţă asupra funcţiei-obiectiv. Dacă testul este satisfăcut, se scrie soluţia optimă a problemei, iar dacă nu este satisfăcut, cu noile valori ale puterilor reactive nodale se reia calculul de la pct. 3.

Programul de calcul elaborat este scris în limbaj FORTRAN-IV şi permite rezolvarea reţelelor pînă la 100 noduri. Această limitare este dată de faptul că se utilizează elementele matricei impedanţelor nodale, care este o matrice plină.

4. Rezultate şi concluzii

Pentru a ilustra modul în care algoritmul şi programul de calcul elaborate rezolvă problema propusă, se vor da în continuare cîteva din rezultatele obţinute. Fie reţeaua din figura 1, ea constituind o reţea de distribuţie din cadrul unei întreprinderi industriale. Acestei reţele i s-a aplicat algoritmul descris anterior pentru mai multe valori adoptate pentru preţul energiei electrice, respectiv al pierderilor de energie.

Amplasamentele şi valoarea optimă a bateriilor de condensatoare ce iau parte la realizarea regimurilor optime de compensare, din punctul de vedere al minimizării pierderilor de putere, sînt prezentate în figura 2. Se constată că în toate aceste cazuri regimul optim de compensare se obţine păstrînd tensiunile în plaja admisă ($\pm 6\%\ U_n$).

Pentru toate cele cinci cazuri s-au calculat indicatorii specifici compensării puterii reactive, şi anume: termenul de recuperare a investiţiei, costul de revenire al energiei reactive produse în sursele de compensare, echivalentul economic al energiei reactive.

Pentru calcule s-au avut în vedere următoarele relaţii:

a) numărul de ani de recuperare a investiţiei

$$n = \frac{I_{total}}{i^{CE}_{sp} * C_{am}\,\Delta P + p^e\,\Delta W_a} \leqslant 5 \text{ ani}$$

unde

i^{CE}_{sp} este investiţia specifică în centralele electrice (5100 lei/kWh);
C_{am} — cota de amortizare a investiţiei pentru centralele electrice;
p^e — costul energiei electrice (lei/kWh);
$\Delta P = p_{necomp} - (p_{comp} + \Delta P_{bat})$ [kW] — reducerea de pierderi de putere prin compensare;

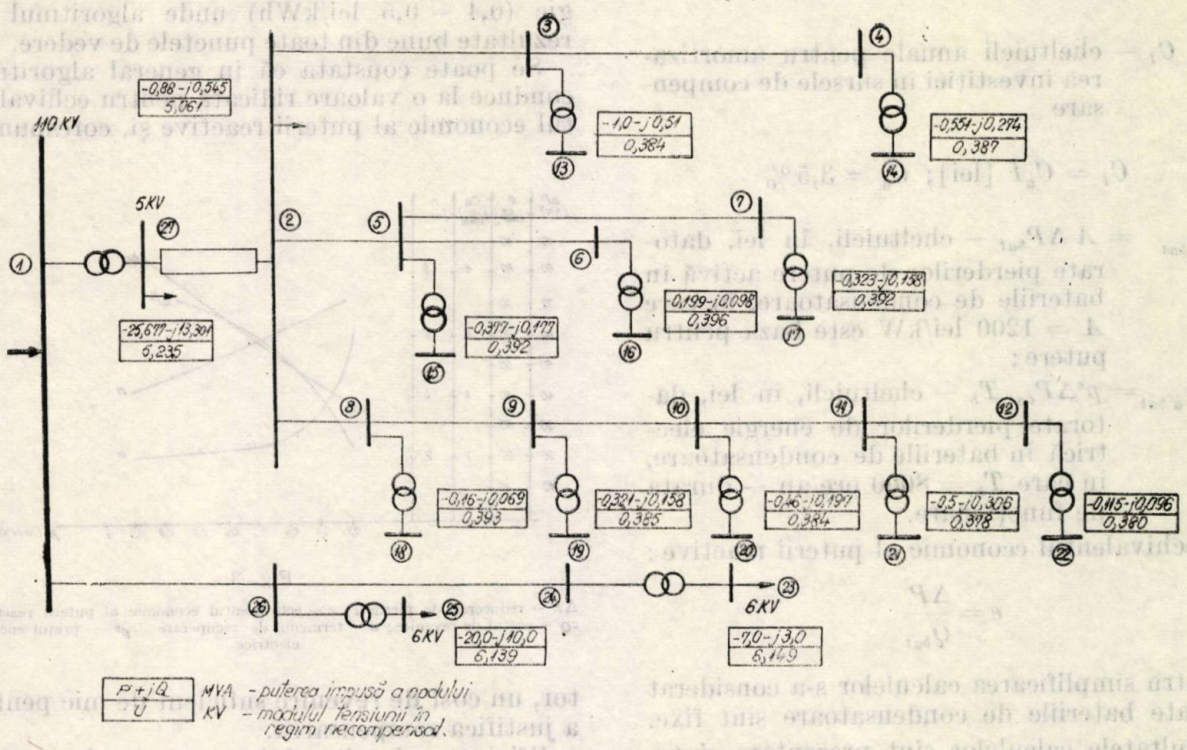


Fig. 1. Regimul permanent al rețelei necompensate.

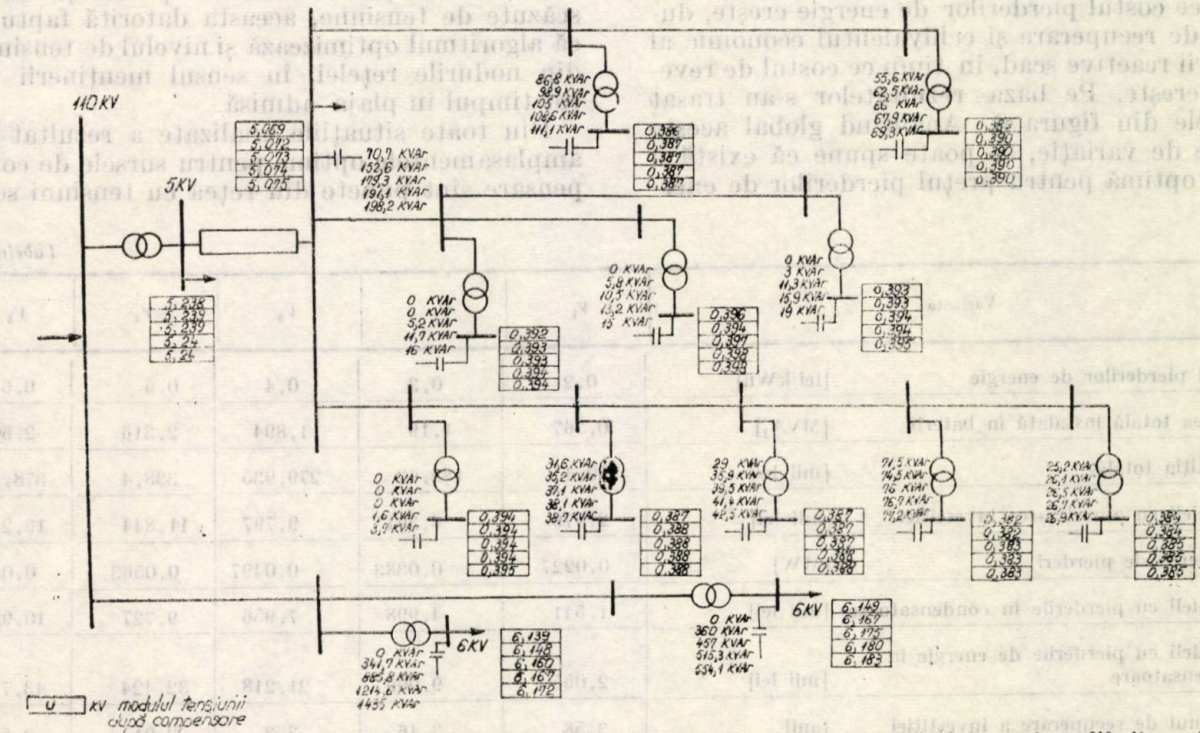


Fig. 2. Modulele tensiunilor nodale și valorile optimale ale surselor de compensare, calculate pentru diferite valori ale prețului energiei electrice.

$\Delta W_a = W_{a\,necomp} - (W_{a\,comp} + \Delta W_{a\,bat})$[kWh] — economia de energie electrică realizată prin compensare;

p, W_a — pierderi de putere, respectiv energie electrică;

$\Delta P_{bat}, \Delta W_{a\,bat}$ — pierderi de putere și energie electrică în bateriile de condensatoare.

b) costul de revenire al energiei reactive:

$$C_Q = \frac{C_I + C_{\Delta P_{bat}} + C_{\Delta W_{a\,bat}}}{T_b\, Q_{bat}} \text{ [lei/MVar]}$$

unde

C_I — cheltuieli anuale pentru amortizarea investiției în sursele de compensare

$$C_I = C_a I \text{ [lei]}; \quad C_a = 3{,}5\,\%$$

$C_{\Delta P_{bat}} = A\,\Delta P_{bat}$ — cheltuieli, în lei, datorate pierderilor de putere activă în bateriile de condensatoare, în care $A = 1200$ lei/kW este baza pentru putere;

$C_{\Delta W_{a\,bat}} = p^e \Delta P_{bat}\, T_b$ — cheltuieli, în lei, datorate pierderilor de energie electrică în bateriile de condensatoare, în care $T_b = 8000$ ore/an — durata de funcționare.

c) echivalentul economic al puterii reactive:

$$e = \frac{\Delta P}{Q_{bat}}$$

Pentru simplificarea calculelor s-a considerat că toate bateriile de condensatoare sînt fixe.

Rezultatele calculelor sînt prezentate sintetic în tabelul 1. După cum se constată, pe măsură ce costul pierderilor de energie crește, durata de recuperare și echivalentul economic al puterii reactive scad, în timp ce costul de revenire crește. Pe baza rezultatelor s-au trasat curbele din figura 3. Analizînd global aceste curbe de variație, se poate spune că există o zonă optimă pentru prețul pierderilor de energie (0,4 — 0,5 lei/kWh) unde algoritmul dă rezultate bune din toate punctele de vedere.

Se poate constata că în general algoritmul conduce la o valoare ridicată pentru echivalentul economic al puterii reactive și, corespunzător, un cost de revenire suficient de mic pentru a justifica compensarea.

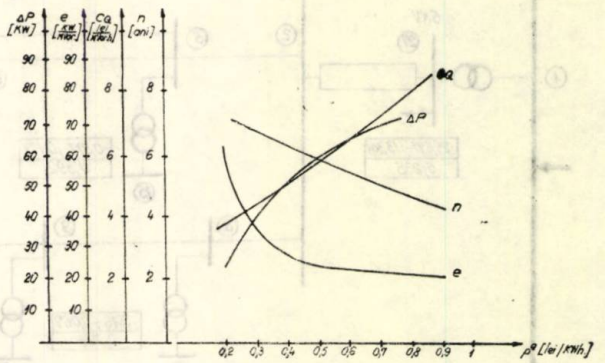


Fig. 3.

ΔP — reducerea de pierderi; e — echivalentul economic al puterii reactive; c_Q — costul de revenire; n — termenul de recuperare; p^e — prețul energiei electrice.

Eficiența algoritmului este mai substanțială în rețelele cu pierderi mari de putere și nivele scăzute de tensiune, aceasta datorită faptului că algoritmul optimizează și nivelul de tensiune din nodurile rețelei, în sensul menținerii lor tot timpul în plaja admisă.

Din toate situațiile analizate a rezultat că amplasamentele optime pentru sursele de compensare sînt puncte din rețea cu tensiuni scă-

Tabelul 1

Varianta		V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
Costul pierderilor de energie	[lei/kWh]	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Puterea totală instalată în baterii	[MVA_1]	0,367	1,19	1,894	2,316	2,602
Investiția totală	[mii lei]	59,4	182,62	279,935	338,4	378,245
Cheltuieli cu amortizarea investiției	[mii lei]	2,079	6,391	9,797	11,844	13,238
Reducerea de pierderi	[MW]	0,0227	0,0383	0,0497	0,0563	0,0608
Cheltuieli cu pierderile în condensatoare	[mii lei]	1,541	4,998	7,956	9,727	10,928
Cheltuieli cu pierderile de energie în condensatoare	[mii lei]	2,055	9,996	21,218	32,424	43,713
Termenul de recuperare a investiției	[ani]	3,58	3,46	3,3	2,91	2,58
Costul de revenire al energiei reactive produse	[lei/MVarh]	1,93	2,24	2,57	2,91	3,26
Echivalentul economic al puterii reactive instalate	[kW/MVA_1]	62	32	26	24	23

Observații. Pentru investiția specifică în bateriile de condensatoare s-au adoptat următoarele valori:
— baterii de condensatoare pentru 5—6 kV—135 lei/kVAr;
— baterii de condensatoare pentru 0,4 kV—200 lei/kVAr.

zute, bornele consumatorilor sau puncte de strangulare.

Datorită compensării are loc o descărcare a liniilor sau transformatoarelor, ceea ce permite dezvoltarea consumatorilor fără investiții necesare dezvoltării capacității rețelei.

Bibliografie

[1] Potolea, E. *Calculul regimurilor de funcționare ale sistemelor electroenergetice.* Ed. Tehnică, București, 1977.

[2] Bercovici, M., Arie, A. și Poeată, A. *Rețele electrice. Calculul electric.* Ed. Tehnică, București, 1974.

[3] Nitu, V. I. *Bazele teoretice ale energeticii.* Ed. Academiei, 1977.

[4] Iordănescu, I. și Iacobescu, Gh. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor.* Ed. Didactică, București, 1979.

[5] Dancea, I. *Metode de optimizare.* Ed. Dacia, Cluj, 1976.

(Articol intrat în redacție la 2 martie 1981)

Creșterea siguranței în funcționare a sistemului energetic și a elementelor acestuia

Explozii și incendii în instalațiile de preparare a cărbunelui, datorită prafului de cărbune

Ing. Șt. Nibeleanu
și ing. R. Popescu*)

În ultima perioadă s-au analizat, la unele centrale termoelectrice, exploziile prafului de cărbune din instalația de preparare a cărbunelui, care au dus la oprirea acesteia.

Pentru stabilirea cauzelor care au provocat aceste explozii, ICEMENERG, în colaborare cu CCSM Petroșani, a analizat caracteristicile de inflamabilitate și de explozivitate ale cărbunilor care se ard în centralele termoelectrice și soluțiile ce se au în vedere pentru prevenirea exploziilor și combaterea efectelor acestora.

În cele ce urmează se fac unele considerații generale, teoretice și experimentale, cu privire la explozivitatea și inflamabilitatea prafului de cărbune și se prezintă soluțiile care se adoptă pentru prevenirea și combaterea efectelor exploziilor.

Considerații teoretice și date experimentale cu privire la caracteristicile de explozivitate ale prafului de cărbune

Aspectele teoretice și practice privind exploziile prafului de cărbune, și în general ale materialelor combustibile pulverulente, sînt în continuare în preocupările specialiștilor din diverse țări. Dacă în cazul substanțelor gazoase este de-ajuns să se cunoască procentajele în amestec pentru a se stabili comportarea exactă la explozivitate, în situația prafului de cărbune — pentru a se defini comportarea la explozivitate — în afară de dependența de concentrație și gradul de finețe, mai intervin, în egală măsură, și alți factori ce definesc starea fizico-chimică a suprafeței particulei, cum ar fi, de exemplu, suprafața specifică a acesteia (suprafața totală a particulelor raportată la masă), care are în vedere și porozitatea particulei.

Această caracteristică acționează direct, într-o măsură mai mare sau mai mică, asupra vitezei de pirogenare și de combustie, asupra energiei minime de aprindere, a tendinței de aglutinare sau asupra stabilității suspensiei etc.

Reactivitatea prafului de cărbune este caracterizată și de alți factori, și anume este mai reactiv imediat după preparare decît după conservarea sa un timp mai îndelungat în contact cu aerul. În principiu, reactivitatea inițială este mai mare dacă praful a fost obținut la o temperatură mai joasă.

Producerea exploziei în cazul particulelor de praf este posibilă numai dacă acestea se găsesc în stare de suspensie în aer. Menținerea particulelor în stare de suspensie depinde de viteza lor de sedimentare, de tendința de aglutinare și de starea de electrizare.

Explozia reprezintă un proces de ardere care se desfășoară cu o viteză foarte mare într-o fracțiune de secundă. În cazul exploziei, arderea se propagă prin intermediul schimbului de căldură, cunoscută sub denumirea de deflagrație, și prin intermediul undei de compresie (unda de șoc), cunoscută sub denumirea de detonație. Aceasta din urmă atinge viteze de propagare de ordinul sutelor de metri pe secundă, funcție de compoziția amestecului exploziv.

Pentru a se produce explozia, praful de cărbune trebuie să se găsească în aer, în stare de suspensie, într-o concentrație explozivă și la o anumită temperatură, denumită temperatura de inflamare pentru inițierea exploziei. Amestecul de aer și praf de cărbune în suspensie poate fi adus la temperatura de inflamare și de inițiere a exploziei printr-o încălzire din exterior sau printr-o încălzire locală a amestecului ca urmare a unei flăcări mici, a unei scîntei electrice sau a arderii mocnite generate de un perete cald care să asigure energia necesară amorsării procesului de ardere explozivă. Viteza inițială a reacțiilor este cu atît mai mare cu cît temperatura este mai ridicată.

*) Ing. Ștefan Nibeleanu și ing. Radu Popescu sînt cercetători științifici principali la ICEMENERG.

Parametrii cei mai importanți care caracterizează pericolul de aprindere sau de explozie a amestecului de praf cărbune — aer sînt:

— temperatura de autoaprindere sau de mocnire (°C); este temperatura minimă la care trebuie adus combustibilul în strat pentru a se constata apariția jarului;

— temperatura minimă de aprindere (°C) a amestecului; este acea temperatură la care particula de cărbune aflată în aer se inflamează;

— concentrația minimă explozivă (g/m³) a prafului de cărbune în aer; este acea valoare care corespunde limitei minime a concentrației de praf cînd amestecul adus la temperatura minimă de aprindere se inflamează și dezvoltă procesul de ardere explozivă;

— concentrația maximă explozivă (g/m³) a prafului de cărbune în aer; este acea valoare care corespunde limitei maxime a concentrației de praf cînd amestecul adus la temperatura minimă de aprindere se inflamează și dezvoltă procesul de ardere explozivă;

— presiunea maximă de explozie (bar); este cea mai mare valoare a presiunii dezvoltate într-un spațiu închis de un amestec exploziv, corespunzător unei anumite concentrații de praf de cărbune în aer;

— viteza maximă de creștere a presiunii (bar/s), care reprezintă creșterea maximă a presiunii în unitatea de timp în timpul exploziei;

— energia minimă de aprindere (mJ); este cantitatea minimă de energie dezvoltată de regulă de o scînteie electrică pentru a aduce amestecul la temperatura de inflamare, în vederea dezvoltării procesului de ardere explozivă.

La evaluarea pericolului de explozie se au în vedere temperatura de mocnire și de inflamare, valoarea concentrației minime explozive, energia minimă de inflamare, concentrația de oxigen, viteza maximă de creștere a presiunii în unitatea de timp și presiunea maximă de explozie ce poate fi dezvoltată.

În literatura de specialitate se arată [3] că praful de cărbune care are un conținut de materii volatile mai mic de 6% nu mai are caracter exploziv. De asemenea se arată că pericolul de explozivitate a prafului de cărbune crește cu reducerea conținutului de balast (cenușă + umiditate din combustibil raportată la masa inițială).

Pentru praful de cărbune la care conținutul de balast este mai mare de 50% raportat la masa inițială, pericolul de explozie se diminuează.

În figura 1 [3] se prezintă dependența între energia minimă de aprindere (mJ) și conținutul de materii volatile (%). În figura 2 [3] se dă variația timpului (ms) de amorsare a exploziei în funcție de conținutul de materii volatile (%), iar în figura 3 [3] se dă variația vitezei (m/s) de propagare a flăcării în cazul exploziei prafului de cărbune în suspensie în funcție de volatile (*1*) și de concentrația prafului (*2*).

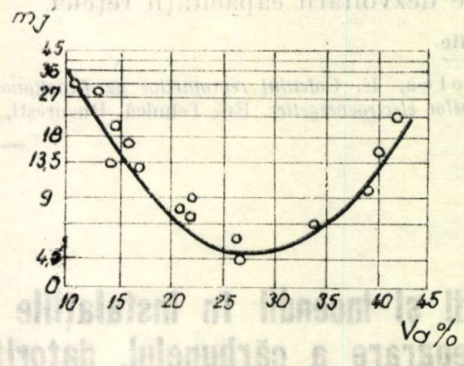


Fig. 1. Dependența energiei minime de amorsare a exploziei de conținutul de materii volatile.

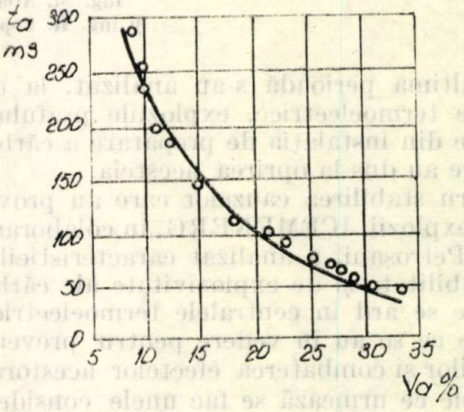


Fig. 2. Dependența timpului de amorsare a exploziei prafului de cărbune de materiile volatile degajate.

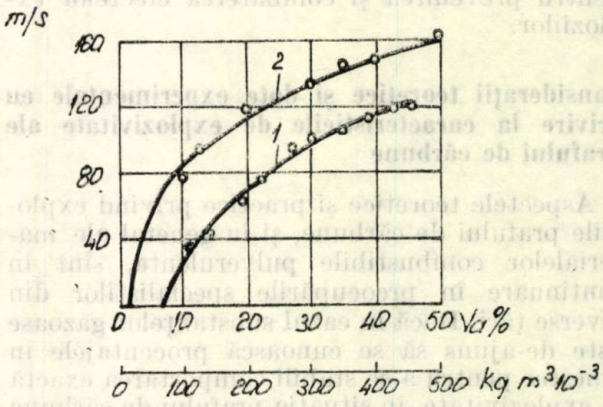


Fig. 3. Viteza de propagare a flăcării în cazul prafului de cărbune în funcție de degajarea de materii volatile (*1*) și de concentrația prafului (*2*).

Pentru cărbunele care se arde în instalațiile de cazane din țara noastră s-au efectuat [1], după metodologia CCSM Petroșani, adică pentru o granulație mai mică de 100 μm, determinări privind stabilirea caracteristicilor de

explozivitate, care se prezintă în continuare în tabelele 1 și 2 și în figura 4.

Tabelul 1

Caracteristici de inflamabilitate și explozivitate a prafului de cărbune

Nr. crt.	Denumire probă	Granulație δ µm	Temp. mocnire (*T. M*) °C	Temp. minimă aprindere (*TMA*) °C	Concentrația minimă explozivă (*CMEx*) g/m³
1	Sortat Petrila	<40	250	805	171,26
2	I d e m	40—80	270	800	212,78
3	Șlam Coroiești	<40	235	750	57,5
4	Idem	40—80	330	755	73,30
5	Șortat Livezeni	<40	340	805	214,87
6	Idem	40—80	280	800	259,70
7	Mixte Petrila	<40	370	825	6,48—603,76*)
8	Idem	40—80	285	815	12,22—966,36*)
9	Mixte Coroiești	<40	255	845	2,55—553,76*)
10	Idem	40—80	240	815	12,47—1156,08*)
11	Mixte Lupeni	<40	305	825	5,88—624,67*)
12	Idem	40—80	265	815	18,48—1028,45*)

*) La concentrațiile respective în amestec cu aer și o temperatură de 1300°C a sursei de inițiere, praful nu a explodat.

În tabelul 1 se dau, pentru diverse sorturi și granulații de cărbune, unii parametri de explozivitate, iar în figura 4 se trasează curbele de variație a presiunii de explozie pentru anumite sorturi și granulații funcție de concentrația de praf.

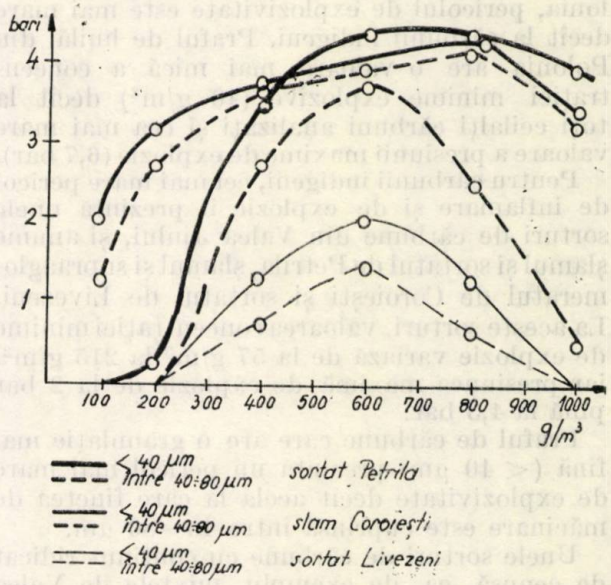


Fig. 4. Variația presiunii de explozie cu concentrația de praf și granulația.

Tabelul 2

Caracteristici de inflamabilitate și explozivitate a prafului de cărbune

Nr. crt.	Denumire probă	Analiză tehnică laborator		Parametrii de inflamabilitate și explozie			Pres. max. explozivă
		$W_a + A_a$ %	MV_c %	TM °C	TMA °C	$CMEx$. g/m³	Concentr. de explozie bar/gm³
1	Șlam sortat Petrila	24,62	Nu s-a determinat	270	760	56,99	4,3/600
2	Sortat Petrila	40,94	„	250	805	171,26	3,6/600
3	Mixte Petrila	50,64	„	370	825	6—603*)	Nu are caracter exploziv
4	Sortat Livezeni	51,36	„	340	805	214,8	2,0/600
5	Șlam Coroiești	20,44	„	235	750	57,15	4,3/800
6	Supragranulație Coroiești	44,23	„	200	760	95,1	3,6/600
7	Mixte Coroiești	60,62	„	255	845	2,5—553*)	Nu are caracter exploziv
8	Mixte Lupeni	51,37	„	305	825	5,8—624*)	Nu are caracter exploziv
9	Cărbune I.E. Rovinari	51,80	58,12	250	605	92	4,15/600
10	Cărbune I.E. Rovinari	52,07	60,92	250	605	92	4,0/600
11	Cărbune I.E. Rovinari	54,22	60,62	230	630	97	3,57/600
12	Lignit bazin Motru (I.E. Craiova)	40,61	59,60	215	630	89,9	3,4/800
13	Mixte Valea Jiului	50,30	Nu s-a determinat	235	615	74,5	4,0/600
14	Sărmășag	49,80	56,4	270	610	72	3,3/600
15	Voivozi	37,07	52,2	310	580	83	2,9/600
16	Suplac	71,10	Nu s-a determinat	445	690	Nu	Nu are caracter exploziv
17	Țebea	43,79	54,70	260	760	84,5	2,9/600
18	Căpeni	47,00	60,19	240	680	96,9	2,9/600
19	Lignit Turcia	49,7	60,2	245	715	209	0,8/600
20	Huilă Iugoslavia	42,50	48,3	280	680	64,8	4/400
21	Huilă Polonia	37,0	31,0	225	620	40	6,7/600
22	Huilă U.R.S.S.	25,00	Nu s-a determinat	250	620	207	4,0/300

*) În domeniul respectiv de concentrație nu s-au produs explozii.
W_a — umiditate raportată la proba analizată; A_a — cenușă raportată la proba analizată; MV_c — conținutul de materii volatile raportat la masa analizată; TM — temperatură de mocnire; TMA — temperatură minimă de aprindere; CM_{ex} — concentrație minimă explozibilă.

În tabelul 2 se prezintă parametrii de explozivitate funcție de conținutul de balast și de materii volatile din praful de cărbune.

Din analiza cărbunilor care se ard în instalațiile de cazane din țara noastră rezultă că la cărbunii din import, în special huila din Polonia, pericolul de explozivitate este mai mare decît la cărbunii indigeni. Praful de huilă din Polonia are o valoare mai mică a concentrației minime explozive (40 g/m^3) decît la toți ceilalți cărbuni analizați și cea mai mare valoare a presiunii maxime de explozie (6,7 bar).

Pentru cărbunii indigeni, cel mai mare pericol de inflamare și de explozie îl prezintă unele sorturi de cărbune din Valea Jiului, și anume șlamul și sortatul de Petrila, șlamul și supraaglomeratul de Coroiești și sortatul de Livezeni. La aceste sorturi, valoarea concentrației minime de explozie variază de la 57 g/m^3 la 215 g/m^3, iar presiunea maximă de explozie de la 2 bar pînă la 4,3 bar.

Praful de cărbune care are o granulație mai fină (< 40 μm) prezintă un pericol mai mare de explozivitate decît acela la care finețea de măcinare este cuprinsă între 40—80 μm.

Unele sorturi de cărbune cu conținut ridicat de cenușă, ca, de exemplu, mixtele de Valea Jiului, se aprind fără a se amorsa fenomenul exploziei.

Pentru ca explozia să aibă loc, praful de cărbune trebuie să se găsească în suspensie în atmosferă în mod permanent sau ocazional. Praful se găsește de regulă în stare de suspensie în spațiile închise. Aceste spații închise sînt: concasoarele, morile, separatoarele, cicloanele, filtrele, conductele de transportat praf, arzătoarele de praf.

În mod ocazional praful fin depus poate fi antrenat de un curent ușor de aer, existînd concomitent o sursă de amorsare (explozii la o lampă fluorescentă, o mică explozie a unui amestec de aer și substanțe gazoase din apropierea depunerilor etc.) Focul poate să se dezvolte și prin autoaprindere în interiorul depunerilor de praf, particulele incandescente fiind antrenate de un curent slab de aer.

Ca sursă de amorsare se poate indica și o flacără mică, de exemplu la un chibrit care poate degaja o temperatură de 600—800°C și o energie de peste 200 jouli.

Explozia mai poate fi generată de o scînteie electrică și de particulele de cărbune care sînt expuse la temperaturi ridicate într-un canal de gaze. Exploziile în instalațiile de măcinare se datoresc în cea mai mare parte scînteilor care se produc la lovirea părților metalice în mișcare cu o bucată de silex sau de metal, pătrunse accidental.

În ceea ce privește inflamarea depunerilor de praf de cărbune, aceasta se poate produce fie spontan, fie cu ajutorul unui aport de energie din afară. Inflamările spontane sînt la originea exploziilor ce au loc în instalațiile de stocare a prafului de cărbune de curînd preparat și se datoresc oxidării acestuia în contact cu aerul.

Depunerea prafului fin de cărbune pe suprafețe fierbinți cu temperatură ridicată, mai mare de 200°C, sau pe instalații electrice care funcționează defectuos, poate să ducă la aprinderea acestuia.

Căldura dezvoltată prin patinarea benzilor de cauciuc poate să conducă de asemenea la aprinderea depunerilor de praf de cărbune care se găsesc pe acestea.

Prevenirea exploziilor și incendiilor datorită prafului de cărbune

Pentru suprimarea sau reducerea riscurilor de explozii, se au în vedere următoarele: eliminarea depunerilor, menținerea prafului de cărbune în atmosferă inertă, evitarea infiltrațiilor de aer, limitarea cauzelor aprinderii prafului de cărbune, limitarea efectelor dăunătoare provocate de explozii, prevederea de instalații de stingere a incendiilor, evitarea propagării focului și a exploziilor.

a) Eliminarea depunerilor se obține prin îndepărtarea permanentă a acestora de pe instalații și prin etanșarea instalațiilor care lucrează sub presiune. Îndepărtarea se realizează cu aspiratorul sau prin spălare cu apă. Este total contraindicat a se elimina depunerile prin măturare sau suflare cu aer.

Instalațiile electrice montate în zona instalațiilor de transport și preparare cărbune la care poată să ajungă apa de spălare vor fi în construcție protejate contra apei.

b) Menținerea prafului de cărbune din interiorul instalației de preparare în atmosferă inertă se obține prin utilizarea în procesul de uscare și măcinare a gazelor de ardere sau a unui amestec de gaze inerte, astfel încît conținutul de oxigen (O_2) să fie mai mic de 15%.

Pentru evitarea infiltrațiilor de aer în zona instalațiilor de praf de cărbune care lucrează sub depresiune, este necesar să se elimine neetanșeitățile și să se verifice periodic menținerea concentrației de oxigen prin analiza gazelor înainte și după zona care lucrează sub depresiune.

c) Pentru limitarea cauzelor aprinderii prafului de cărbune trebuie avute în vedere următoarele:

— evitarea flăcărilor deschise, inclusiv a fumatului în prezența prafului de cărbune în suspensie sau susceptibil de a fi adus în suspensie de către factorii exteriori;

— evitarea lucrărilor de sudură la o instalație de preparare în funcțiune sau după oprirea acesteia, dacă nu s-a verificat că nu există depuneri de praf de cărbune în zona unde urmează să lucreze;

— evitarea formării de depuneri de praf de cărbune pe aparatele de încălzire sau care degajă căldură şi care pot să ajungă la temperaturi mai mari de 200°C;

— evitarea frecării ca urmare a patinării benzilor de cauciuc, care pot să ducă la degajare de căldură şi la aprinderea acestora şi a cărbunelui. În figura 5 [4] se dau curbele de variaţie a temperaturii pentru diverse tipuri de benzi de cauciuc funcţie de durata de patinare.

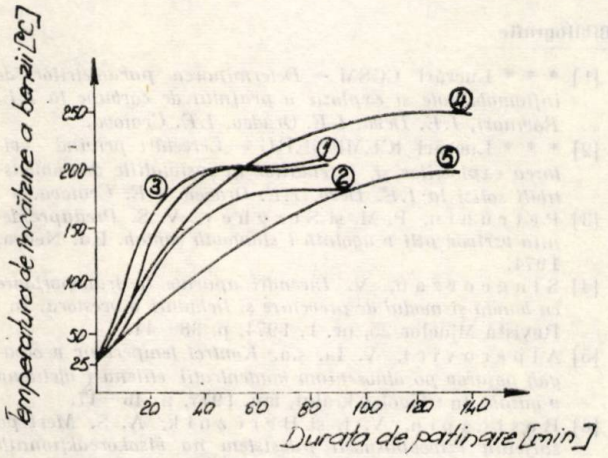


Fig. 5. Curbele de variaţie a temperaturii benzilor funcţie de durata de patinare.

1 — fără înveliş de protecţie; *2* — uzate; *3* — cu înveliş de protecţie din neopran; *4* — cu înveliş de protecţie din p.v.c.; *5* — cu înveliş de protecţie din neopran-cauciuc.

Pentru a se sesiza şi acţiona la apariţia fenomenului de patinare a benzilor de cauciuc, se montează la acestea dispozitive de control care pot să oprească la nevoie rotirea benzii de transport. Se pot folosi şi detectoare de temperatură [4].

Pentru evitarea incendiilor la instalaţia de transport, se recomandă să se folosească benzile rezistente la flacără, în conformitate cu STAS 2077—2/76 (tip ST-4).

— Evitarea formării de depuneri de praf de cărbune în instalaţiile de transport al acestora. Depunerile se pot aprinde de la particulele incandescente pătrunse accidental sau prin autoaprindere. Antrenarea depunerilor aprinse în suspensia de praf poate să genereze explozie dacă concentraţia de praf se găseşte în limitele de explozivitate, iar agentul purtător are un procent de O_2 mai mare de 15%.

Pentru urmărirea dezvoltării fenomenului autoaprinderii prafului de cărbune în moară, se controlează la ieşirea din aceasta conţinutul de oxid de carbon sau al degajărilor de etilenă şi acetilenă [5] din agentul de uscare, prin aparatură de măsurare continuă sau prin măsurători periodice.

Pentru evitarea formării depunerii de praf de cărbune în tubulaturi trebuie de avut în vedere ca viteza minimă de curgere a prafului de cărbune să fie de peste 18 m/s, iar în cazul sectoarelor de conducte orizontale viteza trebuie să depăşească 25 m/s. De asemenea se va realiza o geometrie care să nu permită depuneri de praf, prin evitarea coturilor bruşte, să se realizeze schimbări de secţiune prin unghiuri mici, prin intermediul unor piese tronconice, iar derivaţiile de la conducta principală să nu aibă o înclinaţie mai mare de 45°. În figura 6 se prezintă modul de îngustare a tubulaturii în cot cu circa 1/3 din diametrul conductei pentru evitarea formării depunerilor de praf.

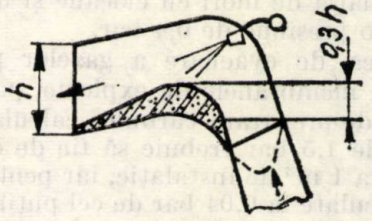


Fig. 6. Mod de îngustare a tubulaturii în cot cu 1/3 din diametrul conductei.

— Conductele trebuie realizate în construcţie sudată cu un număr minim de îmbinări cu flanşă, prin înlocuirea acestora în limita posibilului cu îmbinări sudate.

— Evitarea pătrunderii în instalaţia de măcinare a obiectelor metalice de fier, care, supuse procesului de strivire, produc scîntei generatoare de explozie. Aceste pătrunderi se evită prin îmbunătăţirea controlului funcţionării sistemelor de reţinere a corpurilor metalice.

d) Pentru evitarea efectelor dăunătoare provocate de explozie, se au în vedere două categorii de măsuri:

— dimensionarea instalaţiilor pentru a rezista la presiunea dezvoltată în urma exploziei. Standardul american [7] prevede ca instalaţiile de preparare cărbune care lucrează în mod normal la presiuni apropiate de presiunea atmosferică să reziste la o presiune de 3,52 bar.

Normativul sovietic prevede [8] ca, pentru instalaţiile de preparare cărbune dimensionate să reziste la presiunea maximă de explozie, acestea să fie calculate la presiunea maximă după relaţiile:

$P_c = 2{,}5 + 3{,}5\ P_i$ [bar] pentru un cărbune care are un conţinut de volatile mai mic de 35% raportat la masa combustibilă;

$P_c = 3{,}5 + 4{,}5\ P_i$ [bar] pentru un cărbune care are un conţinut de volatile mai mare de 35% raportat la masa combustibilă, unde: P_c este presiunea maximă la care trebuie să reziste instalaţia [bar], iar P_i — suprapresiunea iniţială de exploatare [bar].

Calcularea elementelor sistemului de preparare a prafului se face la sarcină statică, admiţîndu-se tensiunea admisibilă egală cu limita de fluaj.

— Prevederea de clapete sau membrane de explozie la instalația de preparare a cărbunelui prin care se oferă produselor dezvoltate în urma exploziei un volum suficient pentru a se destinde prin evacuarea spre exterior. Această soluție, foarte eficientă, permite să se diminueze presiunea ce acționează asupra pereților instalației în urma exploziei. Elementele instalației de preparare a cărbunelui dotate cu membrane sau clapete de explozie se calculează la presiune după cum urmează [8] :

— instalația de mori cu bile la o presiune de 1,5 bar ;

— instalația de mori cu ciocane și mori-ventilator la o presiune de 0,4 bar.

Secțiunea de evacuare a gazelor prin clapetele sau membranele de explozie pentru instalațiile de preparare cărbune calculate la o presiune de 1,5 bar trebuie să fie de cel puțin 0,025 m^2 la 1 m^3 de instalație, iar pentru instalațiile calculate la 0,04 bar de cel puțin 0,04 m^2 pentru 1 m^3 de instalație.

Alte măsuri care se iau pentru limitarea efectelor exploziilor privesc amplasarea clapetelor sau membranelor de explozie, precum și a unor instalații cu risc mare de explozie, ca, de exemplu, instalația de preparare a prafului de cărbune și buncărele de cărbune-praf, în zone unde efectele dăunătoare ale produsului exploziei ce sînt evacuate sînt minime pentru instalațiile din apropiere și care nu afectează personalul de exploatare ce lucrează în apropiere de acestea.

În literatura de specialitate, citată în bibliografia anexată, sînt date elemente suplimentare asupra măsurilor de prevenire a exploziilor și a efectelor lor.

Concluzii

Succinta prezentare a unora din problemele legate de explozivitatea prafului de cărbune în instalațiile de preparare cărbune din centralele termoelectrice a evidențiat o serie de factori care trebuie avuți în vedere la proiectarea, exploatarea și întreținerea instalațiilor de preparare a cărbunelui pentru evitarea pericolului de explozii și incendii.

În prezent este necesar ca pentru instalațiile de cazane care ard sorturi de cărbune diferite de cele stabilite la proiectarea instalațiilor, să se procedeze la analizarea caracteristicilor de explozivitate a acestora și să se realizeze măsurile și soluțiile care se impun pentru prevenirea și combaterea efectelor exploziilor.

Bibliografie

[1] * * * Lucrări CCSM — *Determinarea parametrilor de inflamabilitate și explozie a prafului de cărbune la I.E. Rovinari, I.E. Deva, I.E. Oradea, I.E. Craiova.*

[2] * * * Lucrări ICEMENERG — *Cercetări privind evitarea exploziilor și incendiilor la instalațiile de combustibili solizi la I.E. Deva, I.E. Oradea, I.E. Craiova.*

[3] Petruhin, P. M. și Serghev, V. S. *Preduprejdeniia vzrîvov pîli v ugolnîh i slantovîh şahtah.* Ed. Nedra, 1974.

[4] Singeorzan, V. *Incendii apărute la transportoare cu bandă și modul de prevenire și lichidare a acestora.* În : Revista Minelor 25, nr. 1, 1974, p. 38—44.

[5] Alperovici, V. Ia. ș.a. *Kontrol temperatur v oceagah pojarov po otnoseniam kontentrații etilena i ațetilena v gazah.* În : Ugol Ukrainî, ian. 1977, p. 46—47.

[6] Rasteapin, V. I. și Bereznik, A. S. *Meri po snijeniu vzîvoopasnosti pîlesistem na visokoreakționnîh ugleah.* În : Energhetik, nr. 10, 1977, p. 25—26.

[7] * * * *Standard S.U.A. pentru instalarea și manipularea sistemelor de pulverizare a combustibilului*, nr. 60—1973.

[8] * * * *Regulament de protecție împotriva exploziilor la alimentarea cu combustibil a centralelor electrice.* Ed. Energhiia, 1975.

[9] * * * CSN 074009 (1977). *Prescripții de siguranță pentru instalațiile pentru aprinderea prafului de cărbune* (l. cehă).

[10] * * * VDI 3673/79 — *Descărcarea exploziilor de praf.*

[11] Nibeleanu, Șt. și Popescu, R. *Cercetări privind evitarea exploziilor și a incendiilor la instalațiile de combustibili solizi.* Cercetare ICEMENERG, 1978.

[12] Nibeleanu, Șt. *Stingerea incendiilor cu gaze de inertizare în cazul autoaprinderii cărbunilor în buncăr.* Cercetare ICEMENERG, 1980.

[13] Amy, L. *Les explosions de poussières.* SICLI, Paris, 1976.

(Articol intrat în redacție în iulie 1980)

Fenomenul de pompaj și prevenirea lui în exploatarea ventilatoarelor axiale de aer și gaze de ardere ale cazanului de 1035 t/h pe lignit

Ing. P. Laurențiu*)

1. Generalități

Adoptarea soluției de echipare a instalațiilor de cazane de abur cu ventilatoare axiale se justifică prin performanțele superioare pe care le realizează comparativ cu ventilatoarele radiale. Între acestea se disting :

a) Realizarea de debite foarte mari și rapoarte mari de compresie.

b) Randament net superior (circa 85%, comparativ cu 34—58% la ventilatoarele radiale).

c) Posibilitatea unui reglaj calitativ în limite foarte largi.

d) Suplețe și finețe în corelarea debitului cu presiunea de pe refulare.

Deosebirea din punctul de vedere al curgerii fluidului între ventilatoarele axiale și radiale constă în faptul că ventilatoarele radiale refulează perpendicular pe ax, în timp ce ventilatoarele axiale refulează pe direcție axială.

Ventilatoarele axiale sînt constructiv și funcțional similare cu compresoarele axiale (fiind, de regulă, într-o singură treaptă și, la debite foarte mari, în două trepte).

În funcționarea ventilatoarelor axiale de aer și chiar gaze arse pot apărea perturbații ale regimului de exploatare generate de modificări de regim prin manevre în schema de alimentare cu aer a cazanului și agregatelor aferente, perturbații care, dacă nu sînt bine controlate și stăpînite, pot conduce la intrarea ventilatoarelor în regim de pompaj cu efecte defavorabile, putînd provoca în ultimă instanță avarierea ventilatoarelor.

Pompajul este un fenomen specific ventilatoarelor axiale sau compresoarelor axiale multietajate și el poate apărea chiar în condițiile în care acestea dispun de recirculație. Integrarea ventilatoarelor în schema tehnologică a instalației de cazan este prezentată în figura 1.

Pompajul se pune în evidență și din analiza caracteristicilor de funcționare a ventilatoarelor axiale. Pentru edificare se prezintă comparativ, în forma lor cea mai generală, caracteristicile ventilatoarelor radiale și axiale. Mecanismul și evoluția fenomenelor specifice pompajului se vor prezenta în continuare.

2. Explicarea fenomenului de pompaj

Pentru înțelegerea fenomenului de pompaj, ne imaginăm schema simplificată (fig. 4), avînd ca elemente componente ventilatorul, rețeaua în care debitează și, prezentată simbolic, rezistența hidraulică a rețelei.

Diagrama simplificată de funcționare a ventilatorului (fig. 5) în coordonate Q (debit) — H (înălțime de refulare) se compune din :

a) Curba caracteristică de debit (H_v) funcție de poziția de deschidere a aparatului director

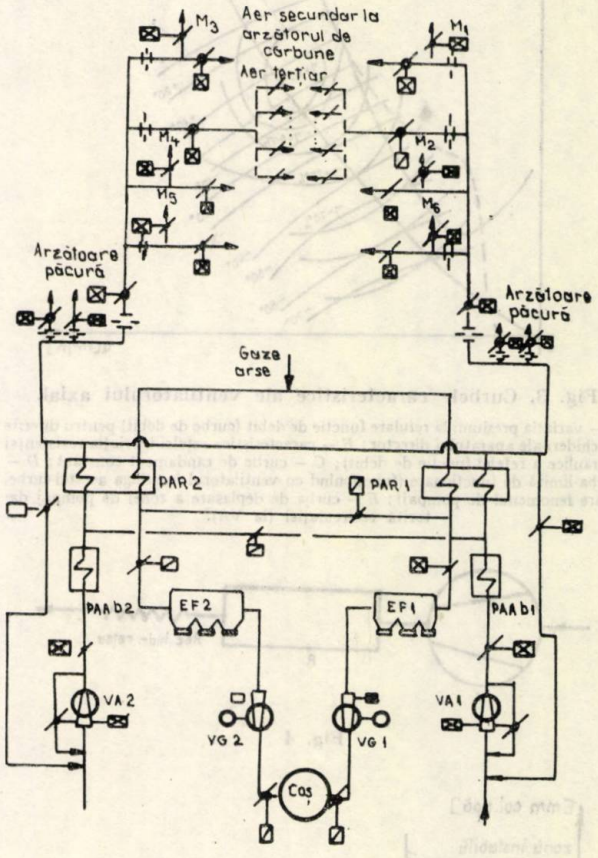


Fig. 1

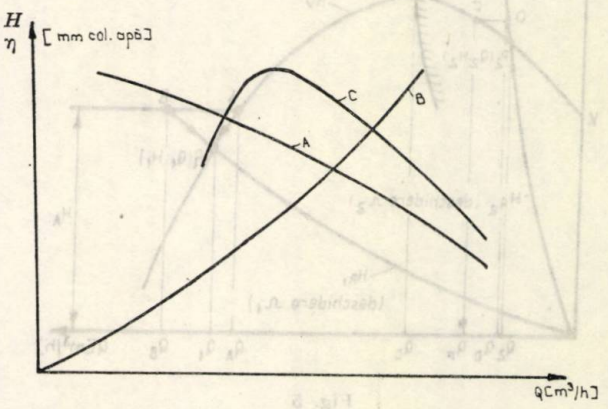


Fig. 2. Curbele caracteristice ale ventilatorului radial.

A — variația presiunii la refulare (H) funcție de debit (Q); *B* — caracteristica rețelei (variația rezistenței hidraulice a rețelei funcție de debit); *C* — variația randamentului cu sarcina.

(una din familia de curbe corespunzătoare unei anumite deschideri a aparatului director).

b) Curbele caracteristice ale rețelei H_{R1} și H_{R2} (rezistența hidraulică a rețelei pentru două situații de funcționare — punctele P_1 și P_2).

*) Ing. Petru Laurențiu este expert instr. la Centrul de perfecționare a lucrătorilor din M.E.E.

2.1. *Fenomenele care au loc în zona caracteristicii de debit cuprinsă între punctele P_1 și C*

Considerăm un punct de funcționare P_1 la intersecția caracteristicii ventilatorului (curbei

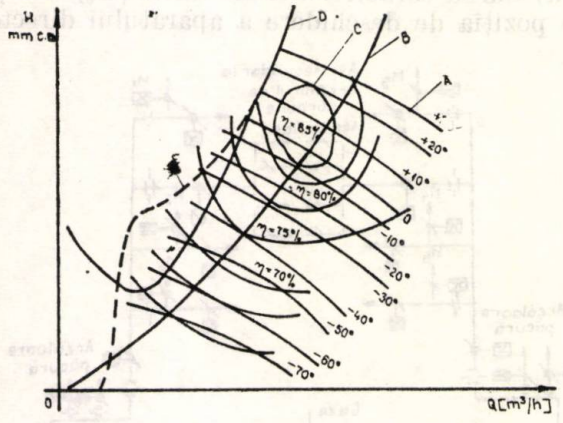


Fig. 3. Curbele caracteristice ale ventilatorului axial.

A — variația presiunii la refulare funcție de debit (curbe de debit) pentru diferite deschideri ale aparatului director; *B* — caracteristica rețelei (variația rezistenței hidraulice a rețelei funcție de debit); *C* — curbe de randament constant; *D* — curba-limită de funcționare (funcționînd cu ventilatorul în stînga acestei curbe, apare fenomenul de pompaj); *E* — curba de deplasare a zonei de pompaj datorită recirculației (la VA).

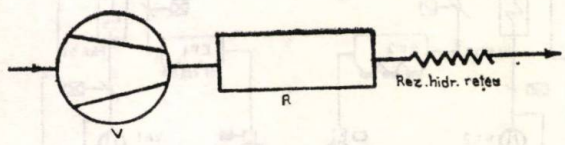


Fig. 4

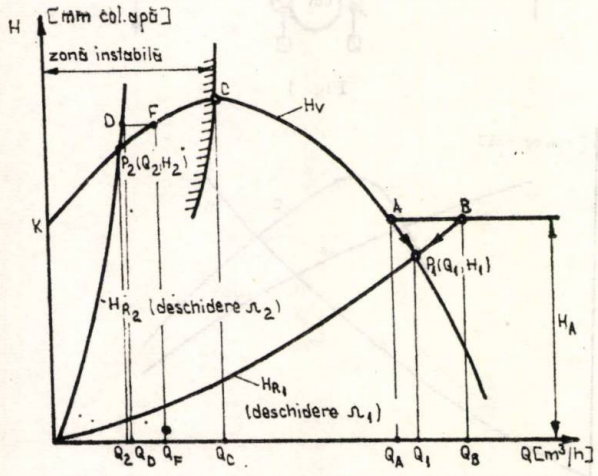


Fig. 5

de debit) H_v și caracteristicii rețelei H_{R1}. Pentru acest punct, debitul corespunzător este Q_1 și înălțimea de refulare H_1.

În regim stabilizat, presiunea totală în rețea va fi H_1. Presupunem că, datorită unei perturbații oarecare, presiunea în rețea crește pînă în punctul A, atingînd valoarea H_A ($H_A > H_1$). Punctul de funcționare a ventilatorului se stabilește la un debit $Q_A < Q_1$, rețeaua debitînd spre consum un debit:

$$Q_B = \Omega_1 \sqrt{2g\,H_1},$$

în care Ω_1 este secțiunea totală de trecere a fluidului spre consum.

Vom avea astfel $Q_B > Q_1 > Q_A$, rețeaua descărcîndu-se treptat, și punctele A și B se vor apropia de P_1 pînă se confundă cu el, regimul restabilindu-se. Punctul P_1 este deci un punct de echilibru stabil, deoarece perturbațiile din jurul acestui punct provoacă reacții spontane, tinzînd să restabilească echilibrul.

2.2. *Fenomenele care au loc în zona caracteristicii de debit cuprinsă între punctele C și P_2*

Considerăm de data aceasta că rezistența hidraulică a circuitului este mai mare (secțiunea de trecere Ω_2) avînd un punct de intersecție a caracteristicilor P_2 (Q_2H_2).

Admitem că o perturbație creează o ușoară suprapresiune în rețea.

Punctele de funcționare se vor stabili în F pentru ventilator și în D pentru rețea, cu $Q_F > Q_D > Q_2$. Debitul $(Q_F - Q_D)$ va face să crească presiunea în rețea și perturbația se va amplifica spontan. Punctul P_2 este astfel un punct de echilibru instabil. Acesta este un punct de funcționare virtual, imposibil de păstrat în funcționarea ansamblului ventilator-rețea, prezentat schematic în figura 4. Se definește zonă instabilă întreaga zonă din stînga punctului C.

Toate punctele aparținînd ramurii urcătoare a caracteristicii KC (fig. 6) sînt puncte de funcționare instabile.

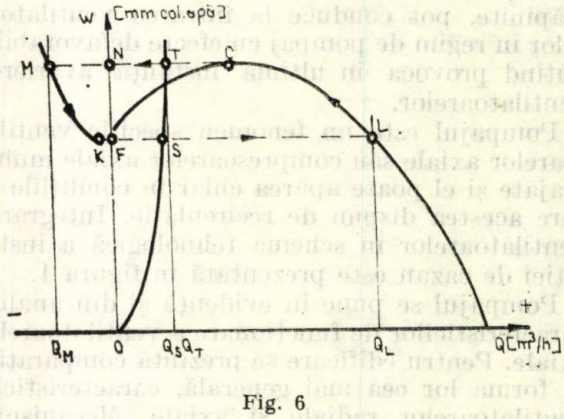


Fig. 6

Punctul de maxim C este un punct critic care separă zonele de instabilitate.

Dacă deschiderea circuitului este fixată la o valoare astfel încît intersecția cu caracteristica ventilatorului este în ramura urcătoare KC, punctul de funcționare a ventilatorului va descrie constant ciclul închis $LCMKFL$, denumit *ciclu de pompaj* (fig. 6) cu un debit oscilant între Q_L și Q_M (negativ), în timp ce

presiunea pe refulare va oscila între H_L și H_C, iar debitul în circuit între Q_S și Q_T. Cînd punctul de funcționare a ventilatorului este pe ramura LC, presiunea în rețea crește. În momentul în care se atinge punctul C, punctul de funcționare trece în M, pe ramura debitelor negative. Ca urmare, rețeaua se descarcă pe consumator (Q_T) și pe ventilator (Q_M), presiunea ventilatorului cade rapid și ciclul se repetă.

Durata perioadei ciclului de pompaj depinde de caracteristicile ventilatorului, ale circuitului și de volumul rețelei pînă la organele de reglaj.

3. Tratarea teoretică a stabilității în funcționarea ventilatoarelor

Masa de fluid care se ia în considerare este cea supusă unei accelerații considerabile, neglijîndu-se masa fluidului de viteză scăzută, datorită configurației rețelei în care debitează ventilatorul.

Rezistențele care intervin sînt cele ale diferitelor părți din circuit și în particular cele în care viteza fluidului este redusă, care sînt de fapt cele mai mari.

Considerăm cazul simplificat al unui circuit cu inerție concentrată (masa fluidului M, porțiunea de canale în care viteza C a fluidului este mare și volumul neglijabil) și un volum V în aval în care viteza este neglijabilă [1].

Vom lucra direct cu presiunea. Ventilatorul este definit prin caracteristica sa p, Q (fig. 7).

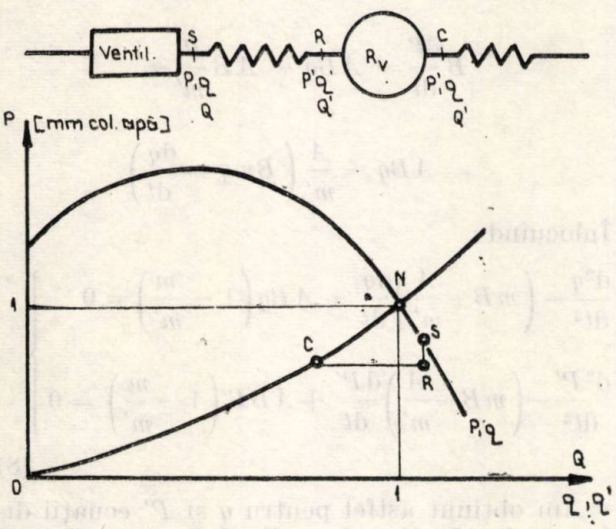


Fig. 7

Circuitul care alimentează rezervorul $R(v)$ este definit prin caracteristica $P'Q'$.

Pentru a evita condițiile particulare pe care le introduc scările curbelor, luăm în considerare presiunea și debitul în punctul N de intersecție a caracteristicilor ca unități de presiune și de debit și vom nota :

$$P = \frac{P}{P_N} \text{ și } q = \frac{Q}{Q_N}$$

Să presupunem că avem un regim tranzitoriu pentru care punctul de funcționare a ventilatorului este în S (P, q) și punctul de funcționare a circuitului alimentat din rezervorul $R(V)$ este în $C(P', q')$. În punctul R al circuitului avem o presiune P' și un debit q.

Problema care se pune este de a urmări evoluția în timp a celor trei puncte S, C și R, interesînd în definitiv evoluția lui R. Funcționarea va deveni stabilă sau nu dacă R tinde sau nu spre N, punctul de intersecție al caracteristicilor.

Diferența de presiune $(P - P')$ provoacă accelerarea masei M conținute în porțiunea de circuit $S - R$ și în consecință variația debitului q. Cînd diferența $(Q - Q')$ este la originea variației cantității de fluid conținută în rezervorul V, vom avea în final presiunea P'.

Pentru analiza stabilității examinăm o zonă infinit mică în jurul lui N.

Astfel putem liniariza problema și definim caracteristicile după tangentele lor de coeficient unghiular m și m'.

$$P = mq \tag{1}$$

$$P' = m'q' \tag{2}$$

Diferența de presiune $(P - P') \cdot P_N$ provoacă o accelerare a masei de fluid $M = \rho SL$ (S — secțiunea, L — lungimea) conținută în canalele de refulare a ventilatorului.

Diferența $(q - q')\, Q_N$ de debite la intrare și ieșire din rezervorul de volum V provoacă o variație relativă de masă specifică ρ' a fluidului.

Se vor scrie două ecuații diferențiale :

$$L\frac{dc}{dt} = (P - P')P_N; \quad (q-q')Q'_N\rho' = V\frac{d\rho'}{dt}$$

Considerăm viteza normală în canalul de fluid C_N

$$C = C_N\frac{Q_C}{Q_N} = C_N q$$

$$\rho LC_N\frac{dq}{dt} = (P - P')\, P_N$$

Considerăm viteza sunetului în fluid

$$a^2 = kpv = \frac{kp}{\rho} = \frac{kP_N P}{\rho}$$

$$LC_N\frac{dq}{dt} = \frac{P - P'}{P}\,\frac{a^2}{k}$$

Să luăm

$\frac{C_N}{a} = M$ — numărul lui Mach în canalul de fluid

și $\frac{L}{a} = Tc$ — timpul de propagare a undei sonice în canalul de fluid.

Ecuația devine :

$$\frac{dq}{dt} = \frac{P - P'}{P} \frac{1}{KMT_c}$$

Luăm

$\frac{1}{PKMT_c} = B$ — constantă pentru o deplasare infinit mică

Vom avea :

$$\frac{dq}{dt} = B(P - P') \tag{3}$$

Putem considera volumul $V(R)$ izoterm, de unde :

$$\frac{p'}{\rho'} = c^{te}, \text{ rezultînd : } \frac{dp'}{p'} = \frac{d\rho'}{\rho'}$$

Luăm :

$\frac{V}{Q_N} = Tv$ — timpul de umplere a rezervorului la debit normal

Ecuația va deveni :

$$q - q' = Tv \frac{dp'}{p'\,dt}$$

sau

$$\frac{dp'}{p'} = \frac{dP'}{P'}$$

de unde :

$$\frac{dP'}{dt} = (q - q') \frac{P'}{Tv}$$

Luăm

$\frac{P'}{Tv} = A$ — constantă pentru o deplasare infinit mică·

Obținem :

$$\frac{dP'}{dt} = A(q - q') \tag{4}$$

Ecuațiile (1), (2), (3) și (4) definesc complet problema. Ele se reduc la două ecuații în care se elimină R și Q grație lui (1) și (2) :

$$\frac{dq}{dt} = B(mq - P') \tag{5}$$

$$\frac{dP'}{dt} = A\left(q - \frac{P'}{m'}\right) \tag{6}$$

Se vede că este posibil să se elimine timpul prin divizare membru cu membru. Se obține astfel ecuația diferențială a traiectoriei punctului $R(P', q)$ la care, odată date caracteristicile Pq și $P'q'$ (m și m'), nu depind decît de coeficientul :

$$\frac{A}{B} = P'P \frac{KMTc}{Tv} \tag{7}$$

Or, P' și P sînt infiniți vecini cu 1 ; astfel :

$\frac{A}{B} = \frac{KMTc}{Tv}$, care îl facem egal cu F,

F fiind coeficientul oscilatoriu al circuitului receptor.

Pentru analiza stabilității este preferabil să păstrăm timpul ca parametru.

Derivînd (5) și (6) :

$$\frac{d^2q}{dt^2} = mB\frac{dq}{dt} - B\frac{dP'}{dt}$$

Din (5) și (6) se deduce :

$$A\frac{dq}{dt} = AB\,mq - AB\,p' = Bm\left(\frac{dP'}{dt} + \frac{AP'}{m'}\right) - ABP'$$

$$\frac{d^2P'}{dt^2} = A\frac{dq}{dt} - \frac{A}{m'}\frac{dP'}{dt}$$

$$B\frac{dt'}{dt} = ABq - AB\frac{P'}{m'} =$$

$$= ABq - \frac{A}{m'}\left(Bmq - \frac{dq}{dt}\right)$$

Înlocuind :

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d^2q}{dt^2} - \left(mB - \frac{A}{m'}\right)\frac{dq}{dt} + ABq\left(1 - \frac{m}{m'}\right) = 0 \\ &\frac{d^2P'}{dt^2} - \left(mB - \frac{A}{m'}\right)\frac{dP'}{dt} + ABP'\left(1 - \frac{m}{m'}\right) = 0 \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

Am obținut astfel pentru q și P' ecuații diferențiale identice de ordinul 2 cu coeficienți constanți.

Soluțiile acestor ecuații sînt de forma :

$$\left.\begin{aligned} q &= \alpha_1 e^{r_1 t} + \alpha_2 e^{r_2 t} \\ P' &= \beta_1 e^{r_1 t} + \beta_2 e^{r_2 t} \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

în care :

α_1, α_2, β_1, β_2 sînt constantele de integrare, iar r_1 și r_2 rădăcinile ecuațiilor caracteristice

$$r^2 - \left(mB - \frac{A}{m'}\right)r + AB\left(1 - \frac{m}{m'}\right) = 0$$

Soluţiile sînt sinusoidale sau exponenţiale, după cum rădăcinile r_1 şi r_2 sînt imaginare sau reale, adică semnul discriminantului :

$$\Delta = \left(mB - \frac{A}{m'}\right)^2 - 4AB\left(1 - \frac{m}{m'}\right) =$$

$$= \left(mB + \frac{A}{m'}\right)^2 - 4AB$$

Primul caz : $\Delta < 0$

Discriminantul este negativ şi

$$-2\sqrt{AB} < mB + \frac{A}{m'} < 2\sqrt{AB},$$

unde, introducînd coeficientul oscilatoriu $F = \frac{A}{B}$,

$$-2\sqrt{F} < m + \frac{F}{m'} < 2\sqrt{F} \text{ sau}$$

$$-\frac{F}{m'} - 2\sqrt{F} < m < -\frac{F}{m'} + 2\sqrt{F} \quad (10)$$

Ecuaţiile (9) se scriu :

$$\left.\begin{aligned} q &= \alpha\, e^{\left(mB - \frac{A}{m}\right)} \cdot t \cdot \sin\left(t\sqrt{-\Delta} + \varphi\right) \\ P' &= \alpha e^{\left(mB - \frac{A}{m}\right)} \cdot t \cdot \sin\left(t\sqrt{-\Delta} + \varphi'\right) \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

α, β, φ şi φ' sînt constante.

Recunoaştem în planul P', q ecuaţiile parametrice ale unei elipse totdeauna parcursă în sens pozitiv cu o perioadă constantă $T = 2\pi\sqrt{-\Delta}$, ale cărei dimensiuni variază exponenţial cu timpul, funcţie de factorul $e^{\left(mB - \frac{A}{m'}\right) \cdot t}$. Este vorba deci de o spirală eliptică. Ea este convergentă sau divergentă, funcţie de semnul exponentului, deci de $\left(mB - \frac{A}{m'}\right)$. Ea este convergentă dacă semnul este negativ :

$$mB - \frac{A}{m'} < 0 \text{ sau } m - \frac{F}{m'} < 0 \text{ sau } m < \frac{F}{m'}$$

Aceasta este condiţia de stabilitate în funcţionare.

Dimpotrivă, dacă $m > \frac{F}{m'}$, spirala este divergentă şi vom avea instabilitate.

În concluzie, în cazul în care $\Delta < 0$, limita de stabilitate este definită prin condiţia $mm' = F$.

Regim stabil

$$-\frac{F}{m'} - 2\sqrt{F} < m < \frac{F}{m'}$$

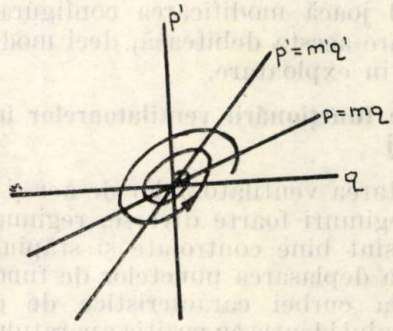


Fig. 8

Regim instabil

$$\frac{F}{m'} < m < 2\sqrt{F} - \frac{F}{m'},$$

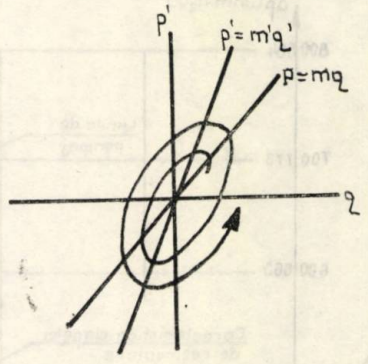


Fig. 9

Se vede că, dacă caracteristica receptoare este crescătoare, $m > 0$, limita de stabilitate se atinge pentru o valoare pozitivă a lui m, care defineşte o pantă pozitivă maximală a caracteristicii ventilatorului de la care regimul devine instabil. Această pantă, egală cu $\frac{F}{m}$, depinde deci în acelaşi timp de caracteristica receptorului (m') şi de coeficientul oscilatoriu F.

Cazul II : $\Delta > 0$

Rădăcinile r_1 şi r_2 sînt în acest caz reale şi expresiile (9) sînt pur exponenţiale, adică traiectoria punctului reprezentativ este hiperbolică, şi nu eliptică.

Nu vom putea avea astfel stabilitate, deoarece valorile lui P' şi q nu tind spre infinit cu timpul. Aceasta înseamnă că şi una şi alta din cele două exponenţiale din expresia (9) $e^{r_1 t}$ şi $e^{r_2 t}$ au un exponent negativ, adică cele două rădăcini r_1 şi r_2 sînt negative. În această situaţie, stabilitatea nu se atinge (teoretic după un timp infinit).

În concluzie, putem sublinia că zona oscilatorie tinde spre un domeniu stabil dacă regimul spiraloid este convergent și instabil dacă regimul spiraloid este divergent. În problema stabilității în funcționarea ventilatorului, un rol esențial îl joacă modificarea configurației rețelei în care acesta debitează, deci modificările de regim în exploatare.

4. Cauzele funcționării ventilatoarelor în regim de pompaj

Exploatarea ventilatoarelor de aer și gaze se face în regimuri foarte diverse, regimuri care, dacă nu sînt bine controlate și stăpînite, pot conduce la deplasarea punctelor de funcționare (intersecția curbei caracteristice de debit a ventilatorului identic cu poziția aparatului director), cu caracteristica rețelei(rezistența hidraulică a rețelei funcție de debit) în zone de instabilitate și, drept urmare, intrarea ventilatorului în regim de pompaj [3].

Fenomenul de pompaj apare ca urmare a necorespondenței dintre debitul de fluid vehiculat și presiunea de pe refularea ventilatorului.

Presiunea la refulare și în rețeaua în care debitează ventilatorul se modifică (crește sau scade) ca urmare a perturbațiilor generate de următorii factori :

4.1. *La ventilatoarele de aer*

a) Modificarea numărului de mori în funcțiune.

b) Modificarea numărului de arzătoare de păcură.

c) Înfundarea PAR, care conduce la reducerea secțiunii de trecere a aerului și gazelor de ardere și deci a debitului, urmată de creșterea căderii de presiune.

d) Modificarea depresiunii în focar.

e) Funcționarea cu 2 VA la sarcini reduse (sub 50 %).

f) Necorelarea deschiderii aparatului director cu clapeta de recirculație prin reglaje incorecte.

g) Necorelarea poziției aparatului director cu indicatorul de poziție din camera de comandă termică.

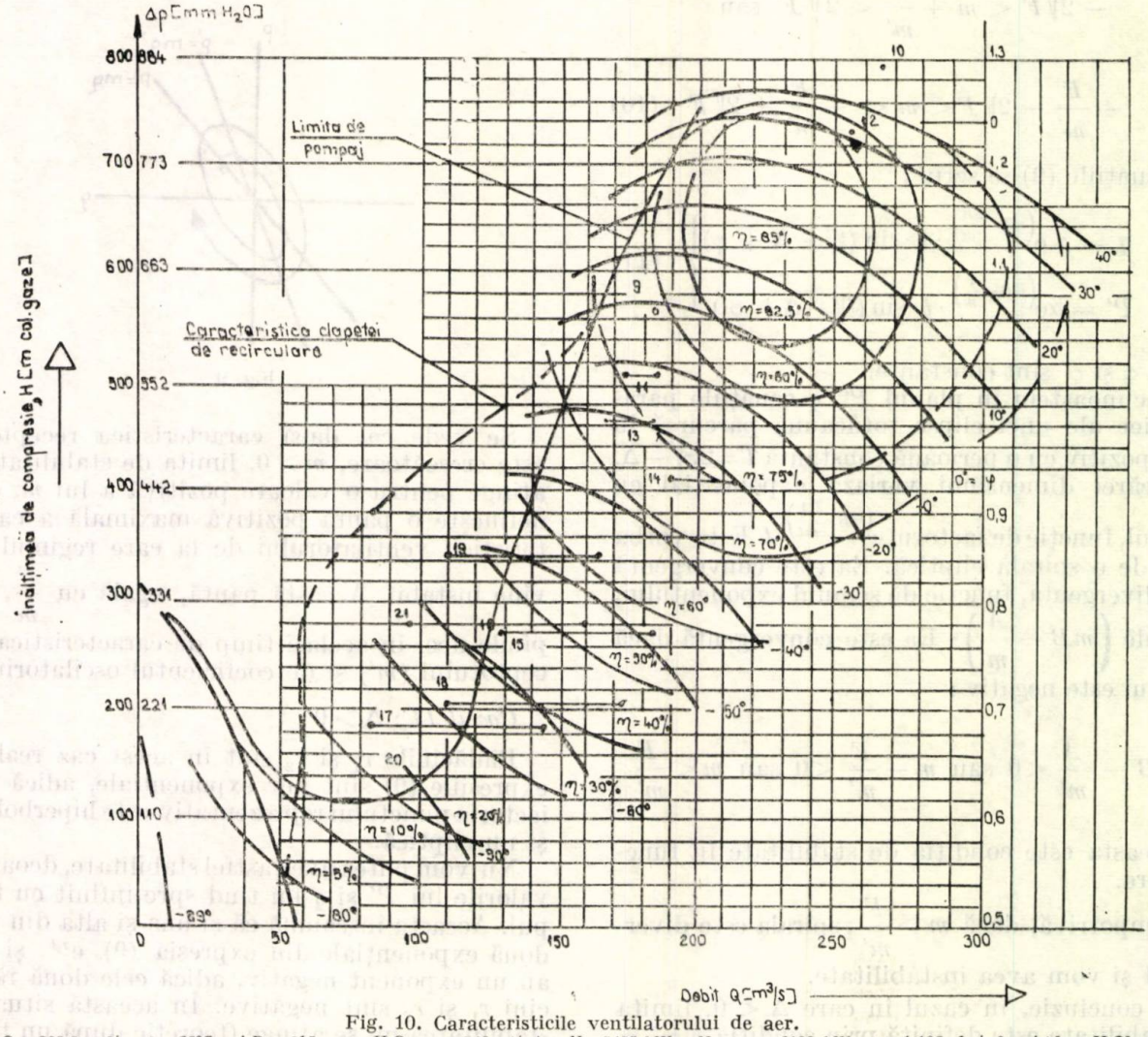


Fig. 10. Caracteristicile ventilatorului de aer.
$Q = 262{,}5$ m³/s; $t = 35°C$; $\Delta P_t = 815$ mm H_2O; $n = 740$ rot/min; $N = 2455$ kW; $N_{motor} = 3100$ kW; $\gamma = 1{,}105$ kg/m³; Δp[mm H_2O] = $= 1{,}105$[kg/m³]. H[mm col. gaze]; unghiul paletei reglabile $\alpha c = 72{,}5°$.

4.2. *La ventilatoarele de gaze arse*

a) Manevrarea greşită sau deschiderea incompletă a unor şibere de pe refularea VG sau intrare în electrofiltre.

b) Modificarea regimului de ardere.

c) Înfundarea PAR.

d) Funcţionarea cu 2 VG la sarcini reduse (sub 50%).

e) Necorelarea poziţiei aparatului director cu indicatorul de poziţie.

Pentru cauzele prevăzute la pct. 4.1 şi 4.2, intrarea ventilatorului în regim de pompaj este posibilă în principal datorită scăderii debitului şi creşterii presiunii pe refulare, ca urmare a schimbărilor de regim enumerate în exploatarea cazanului. Astfel, la scoaterea morilor şi arzătoarelor de păcură din funcţiune sau înfundarea PAR etc., prin închiderea şiberelor de pe aerul secundar sau primar, apare o creştere de presiune pe refularea ventilatorului, iar dacă punctul de funcţionare este în zona curbei-limită de pompaj (fig. 10), caracteristica reţelei se modifică, iar punctul de funcţionare poate trece în zona de instabilitate, apărînd pompajul.

5. Efectele fenomenului de pompaj

Pompajul are efecte defavorabile asupra stării tehnice a ventilatorului şi regimului de funcţionare, după cum urmează :

a) Variaţii de debit în limite largi, de la valori mari pozitive la valori negative (inversarea sensului de curgere).

b) Variaţii mari de presiune pe refularea ventilatorului.

c) Variaţii ale curentului absorbit de motor (sesizabile la ampermetru).

d) Apariţia de zgomote şi vibraţii în ventilator.

e) Inversări ciclice ale sensului împingerii axiale şi eforturi axiale suplimentare.

f) Solicitări ciclice asupra paletelor rotorului ventilatorului, urmate de obosirea şi ruperea paletelor.

6. Prevenirea fenomenului de pompaj

În scopul prevenirii fenomenului de pompaj şi evitării consecinţelor accentuat defavorabile ale acestuia, este necesară punerea în aplicare în mod riguros a următoarelor măsuri :

a) Urmărirea continuă a corespondenţei dintre poziţia aparatului director şi presiunea la refulare, pentru ca regimul de funcţionare să fie în zona stabilă (conform tabelului 1) [2].

b) Respectarea instrucţiunilor de exploatare privind pornirea, modificările de regim şi oprirea ventilatoarelor, acordîndu-se atenţie deosebită funcţionării în regim de durată cu numai un VA şi VG la sarcini sub 50% pe cazan.

c) Urmărirea căderii de presiune pe PAR, funcţie de sarcină, şi curăţirea periodică a acestuia conform instrucţiunilor.

d) Corectarea, ori de cîte ori apar modificări de regim de exploatare, a corespondenţei dintre poziţia aparatului director şi presiunea la refulare a ventilatorului, conform tabelului 1.

Tabelul 1

Ventilatoare aer cazan 1035 t/h — Corelarea în exploatare a deschiderii aparatului director cu presiunea maximă la refulare pentru evitarea pompajului

Deschiderea exprimată în grade sexagesimale	Deschiderea exprimată în %		Presiunea maximă admisă la refulare, mm H_2O	Presiunea maximă reconstituită, mm H_2O	Obs.
	Şirul I (rotunjit)	Şirul II (rotunjit)			
—87	0	0	—	—	Complet deschisă recircularea
—80	5	8	—	—	Idem
—70	13	19	221	210	Idem
—60	21	30	331	314	—
—50	30	41	390	378	—
—40	36	52	451	430	—
—30	44	63	619	493	—
—20	52	74	374	545	—
—10	60	86	624	593	—
— 0	67	100	674	640	—
—10	75	—	718	682	—
—20	82	—	773	734	—
—30	90	—	806	755	—
—40	100	—	815	774	—

NOTĂ

1. Aparatul indicator la pupitru are scala în %, şi anume de la 0 ... 100%. Dacă acest interval conţine întregul domeniu unghiular (— 87°÷40°), adică în total o cursă de — 130°), pentru echivalare este valabil şirul I. Dacă acest interval cuprinde domeniul unghiular (— 37°...0°, adică — 90°) pentru echivalare este valabil şirul II. 2. Toate valorile sînt valabile pentru poziţionarea paletei reglabile la un unghi de 72,5°.

Concluzii

a) Fenomenul de pompaj specific ventilatoarelor axiale poate apărea frecvent în exploatare chiar în condiţiile prevederii prin construcţie a recirculaţiei antipompaj, condiţiile de exploatare diverse putînd provoca fenomenul.

b) Efectele pompajului sînt multiple, culminînd cu solicitări ciclice asupra paletelor rotorului ventilatorului şi, în ultimă instanţă, cu obosirea şi ruperea acestora.

c) Se impune instruirea specială şi atenţionarea personalului de exploatare în privinţa mecanismului producerii fenomenului de pompaj, a efectelor şi prevenirii acestuia prin măsurile de exploatare precizate. Se va insista asupra urmăririi corelaţiei dintre poziţia aparatului director şi presiunea de pe refularea ventilatorului, conform tabelului 1.

d) Coordonarea corectă a regimurilor de exploatare a ventilatoarelor pe seama măsurilor

precizate anterior este de natură să prevină şi să elimine pompajul. Experienţa ultimilor 1,5 ani în exploatarea ventilatoarelor a demonstrat că prin coordonarea atentă a regimurilor şi aplicarea măsurilor antipompaj precizate s-a reuşit prevenirea pompajului şi evitarea avarierii ventilatoarelor.

Bibliografie

[1] Bidard, R. *Le pompage des compresseurs. Résultats d'essais.* ATMA, Paris, 1950.

[2] ICPET şi Babcock. *Tabel corelaţie poziţie aparat director — presiune pe refulare ventilator aer,* 1979.

[3] Laurenţiu, P. *Notă tehnică privind fenomenul de pompaj şi prevenirea lui în exploatarea ventilatoarelor axiale.* M.E.E. — D.T., C.P.L., 1979.

(Articol intrat în redacţie în august 1979)

Analiza comparativă a sensibilităţii principalelor metode de detecţie a defectelor produse de eforturile electrodinamice în transformatoarele de putere

dr. ing. C. Moldoveanu
M. Marinescu Raiu
V. Mănițiu*)

Consideraţii generale

Siguranţa în alimentarea neîntreruptă a consumatorilor cu energie electrică presupune suportarea în bune condiţii, de către echipamentul electric, a tuturor solicitărilor electrice, termice şi dinamice care pot apărea în timpul funcţionării sale.

Unul dintre cele mai frecvente regimuri de avarie în sistemele electroenergetice este regimul de scurtcircuit, în care echipamentul (generatoarele, transformatoarele, aparatajul de comutaţie etc.) este parcurs pe durata avariei de curenţii de scurtcircuit şi este supus solicitărilor termice şi dinamice create de aceşti curenţi. Aceste solicitări depind de puterea de scurtcircuit a reţelelor. Cînd aceasta este relativ mică (uneori cu mult sub plafonul avut în vedere la proiectarea echipamentului), în timpul unui scurtcircuit tensiunea scade şi, odată cu ea, scade şi valoarea curentului de scurtcircuit. Creşterea numărului centralelor electrice şi interconectarea sistemelor electroenergetice fac ca în mai multe puncte din sistem puterea de scurtcircuit să se apropie de valorile-limită. În aceste situaţii pot să apară avarii de echipament.

Scoaterea din funcţiune a unui transformator de putere pune utilizatorului probleme importante din punct de vedere tehnic, pentru că ea poate conduce la necesitatea unei noi repartiţii a regimului de transport al energiei electrice pe ansamblu, la noi valori ale tensiunii de funcţionare, la suprasarcini etc. Acest eveniment, deci, poate plasa reţeaua electrică într-o stare în care gradul de siguranţă este sensibil diminuat, astfel încît un nou posibil incident ar putea să creeze o situaţie dintre cele mai delicate pentru consumatori şi sistem.

Avarierea unui transformator necesită o intervenţie imediată, însă dimensiunile, masa aparatului în cauză etc. măresc valoarea manoperei şi durata pînă la punerea acestuia din nou în exploatare. Trebuie avut în vedere, de asemenea, faptul că, de regulă, transformatorul avariat trebuie reparat în ateliere sau la fabrica constructoare şi că transportul acestuia constituie totdeauna o operaţie dificilă, deoarece necesită punerea la dispoziţie de personal pentru operaţiile de încărcare-descărcare şi de treilere sau vagoane speciale, ceea ce nu totdeauna se poate realiza rapid. Intervalul de timp dintre ziua avarierii transformatorului şi ziua repunerii sale (sau a unui înlocuitor) în funcţiune este destul de mare, în foarte puţine cazuri mai mic de trei săptămîni. Prevederea unui număr de transformatoare de rezervă, număr cu atît mai mare cu cît produsul este mai puţin sigur în exploatare, reprezintă o investiţie neproductivă importantă [1]—[7].

Deci problema stabilităţii la scurtcircuitele din reţea a transformatoarelor de putere este importantă pentru utilizator şi totodată o problemă reală. Aceasta a determinat impunerea condiţiei ca furnizorul de transformatoare să garanteze, pe cît este posibil, din punct de vedere tehnic, prin probe de scurtcircuit, şi nu prin calcule, produsele sale.

Efectuarea probei de scurtcircuit brusc la transformatoarele de putere presupune însă existenţa unor laboratoare dotate în mod corespunzător şi a unor metode de depistare a defectelor mecanice care se produc în transformatoarele solicitate la curenţi de scurtcircuit.

Dacă, în privinţa laboratoarelor, în ţara noastră situaţia s-a îmbunătăţit în ultimii ani prin darea în exploatare a laboratorului de mare putere al CCSIT Electroputere-Craiova şi staţia de mare putere a ICEMENERG-Bucureşti, în ce priveşte însă detecţia defectelor la scurtcircuit brusc nici una din metodele folosite în prezent (bazate pe modificarea valorilor curentului şi tensiunii sursei de alimentare, variaţia impedanţei de scurtcircuit, modificarea

*) Constantin Moldoveanu este cercetător ştiinţific principal la ICEMENERG; Marian Marinescu Raiu şi Victor Mănițiu sînt subingineri la acelaşi institut.

zgomotului transformatorului, modificarea curentului de magnetizare, modificarea rezistenței ohmice a înfășurărilor, modificarea tensiunilor de ținere) nu a permis elaborarea unor criterii sigure pentru acceptarea sau rebutarea transformatoarelor de putere la proba de scurtcircuit brusc.

În articolul de față se prezintă cîteva din preocupările ICEMENERG privind sensibilitatea detecției defectelor produse de eforturile electrodinamice folosind următoarele metode de detecție: metoda impulsurilor de joasă tensiune, metoda analizei răspunsului în frecvență, metoda măsurării impedanței de scurtcircuit și metoda analizei vizuale după decuvare. Analiza s-a efectuat pe trei transformatoare de distribuție din exploatare (două de 160 kVA 20/0,4 kV și unul de 100 kVA 20/0,4 kV) încercate la scurtcircuit brusc în stația de mare putere a ICEMENERG.

2. Defectoscopia prin metoda impulsurilor de joasă tensiune

2.1. *Principiul și variante de aplicare a metodei*

Metoda, aplicată pentru prima dată de Lech și Tyminski [8], se bazează pe modificarea relativă a inductivității și capacității interne a structurii înfășurării ca urmare a defectării acesteia. Pentru aceasta se compară oscilogramele obținute înainte și după încercarea la scurtcircuit brusc, cînd se aplică înfășurărilor impulsuri de tensiune avînd timpul de creștere relativ mic și amplitudine de cîteva sute de volți.

Aplicarea unui impuls avînd timpul de creștere relativ mic face să apară în transformator fenomene de regim oscilant: repartiția inițială, care corespunde frontului undei, este determinată mai ales de capacități, în timp ce repartiția finală este în funcție, în special, de distribuția inductivităților. Un defect produs la scurtcircuit se manifestă, de regulă, ca o deplasare a înfășurărilor și deci ca o modificare a capacităților, care determină variația răspunsurilor înfășurărilor. Această variație va fi din ce în ce mai mare, cu cît influența capacităților va fi mai mare, deci cu cît timpul de creștere a impulsului este mai mic. Oscilogramele înregistrate în diferite perioade de timp, dar în condiții de măsură identice, vor prezenta diferențe dacă starea transformatorului variază în timp.

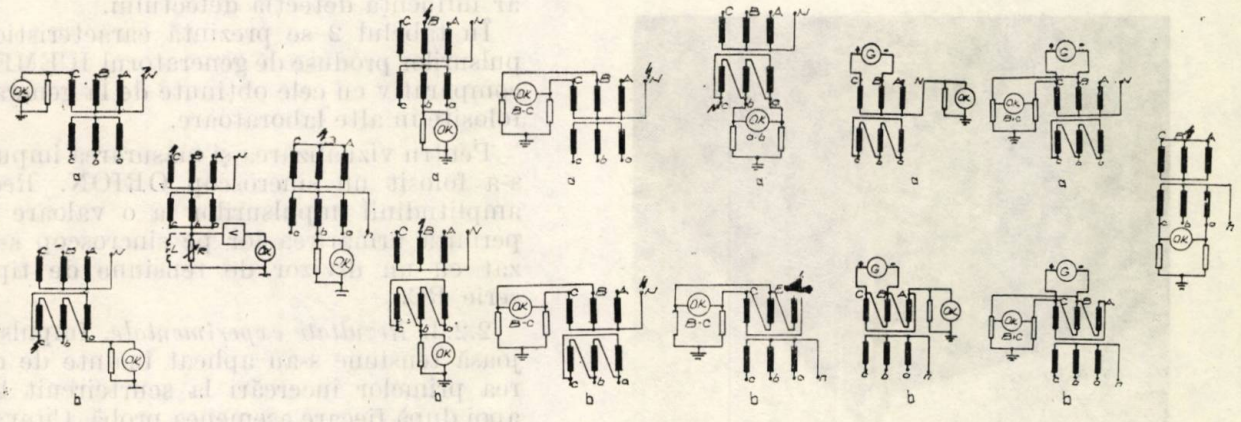
În tabelul 1 se prezintă variantele principale de aplicare a metodei impulsurilor de joasă tensiune [9]—[17].

Fenomenele care se obțin la aplicarea metodei impulsurilor de joasă tensiune sînt oscilatorii, cu o fundamentală care se suprapune oscilațiilor de frecvență ridicată, toate acestea fiind legate de forma impulsurilor de joasă tensiune și de caracteristicile transformatorului. În varianta de măsurare directă, această metodă este mai puțin sensibilă pentru detectarea prezenței unei anomalii, comparativ cu varianta de măsurare diferențială. În schimb, ea permite, la anumite tipuri de transformatoare, localizarea zonei defectului, bazat pe legătura dintre locul defecțiunii și momentul producerii deformării oscilogramei.

2.2. *Circuitul și aparatura de măsură folosite de ICEMENERG*

2.2.1. *Circuitul de măsură.* La realizarea circuitului de măsură s-a ținut seama de necesitatea ca variațiile observate pe oscilograme să provină numai de la transformator, deoarece numai în acest caz rezultatele obținute aplicînd

Tabelul 1

	Variante de măsurare a impulsurilor								
	Direct				Diferențial				
	1.1.	1.2.	1.3.	1.4.	2.1.	2.2.	2.3.	2.4.	2.5
Circuitul de măsură									

metoda impulsurilor de joasă tensiune pot fi interpretate corect. Pentru ca fenomenele să nu fie modificate, de la o măsurare la alta, de paraziții externi produși sau captați de circuitul de măsură (întrucît măsurătorile la ICEMENERG se efectuează în încăperi neecranate), s-au folosit cabluri coaxiale terminate prin impedanța lor caracteristică (pentru a se micșora reflexiile datorită cablurilor).

Conexiunile la bornele înfășurărilor transformatorului s-au făcut prin discuri de ecranare (fig. 1), care asigură o bună reproductibilitate

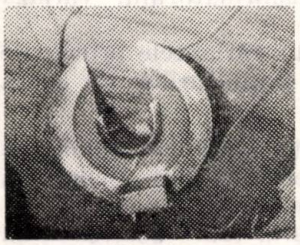


Fig. 1.

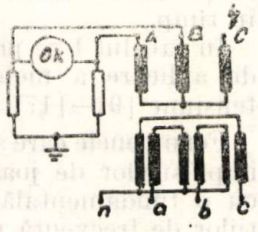


Fig. 2.

a conexiunii la înfășurări, o ecranare eficace a bornelor trecerilor izolate, conectarea cu inductanță redusă a generatorului de impulsuri și a rezistențelor de adaptare la bornele trecerilor izolate. De asemenea, nu mai este absolut necesară poziționarea exactă a conductoarelor pe transformator. Fără ele, orice apropiere a personalului operator de transformatorul încercat, în timpul aplicării impulsurilor, poate determina modificarea capacităților și deci modificarea impulsurilor recepționate. În timpul încercării la scurtcircuit brusc discurile de ecranare au fost desfăcute.

Circuitul de măsură a diferit funcție de varianta de aplicare a metodei. Dintre circuitele prezentate în tabelul 1 s-au folosit variantele 1.2 și 1.3 — pentru măsurarea directă — și circuitul din figura 2 — pentru măsurarea diferențială.

2.2.2. *Aparatura*. Pentru aplicarea metodei impulsurilor de joasă tensiune la detectarea defectelor mecanice în înfășurările transformatoarelor de putere, la ICEMENERG a fost realizat generatorul din figura 3, care produce

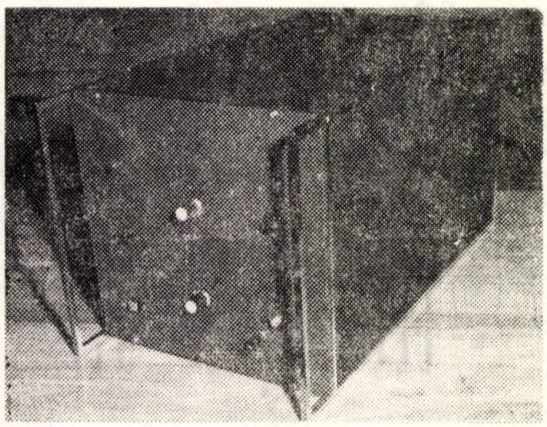


Fig. 3.

impulsuri pozitive de formă dreptunghiulară (fig. 4), avînd timpul de creștere de 200 ns, durata 4,6 μs, timpul de descreștere 1,4 μs, frecvența de repetiție 50 Hz.

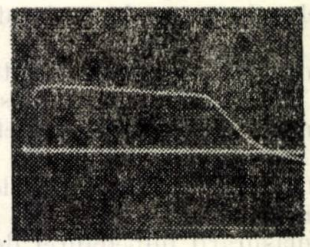


Fig. 4.

La stabilirea caracteristicilor impulsurilor produse de acest generator s-au avut în vedere următoarele considerente :

— deplasările relativ mici ale înfășurării sînt mult mai ușor detectate folosind impulsuri cu timp de creștere relativ mic ;

— impulsurile avînd timpul de creștere relativ mic sînt atenuate mai rapid în înfășurare și de aceea este nevoie de o amplitudine mai mare pentru impulsurile produse de generator sau de o amplificare mai mare a impulsurilor recepționate ;

— amplitudinea minimă a semnalului recepționat este limitată de nivelul zgomotului ambiant ;

— cînd se folosesc impulsuri avînd timpul de creștere relativ mic, este absolut necesar ca rezistența de măsură să fie egală cu impedanța caracteristică a cablurilor de măsură, altfel reflexiile sînt mai mari ;

— impulsurile avînd timpul de creștere mai mare (0,2—0,5 μs) au avantajul că sînt mai ușor de generat și înregistrat și că se modifică mai puțin în funcție de poziția cablurilor de măsură ;

— impulsurile de durată și frecvență de repetiție mare necesită o capacitate mai mare pentru generator ;

— tăierea impulsului trebuie să se facă înainte ca să devină observabile primele reflexii, care ar influența detecția defectului.

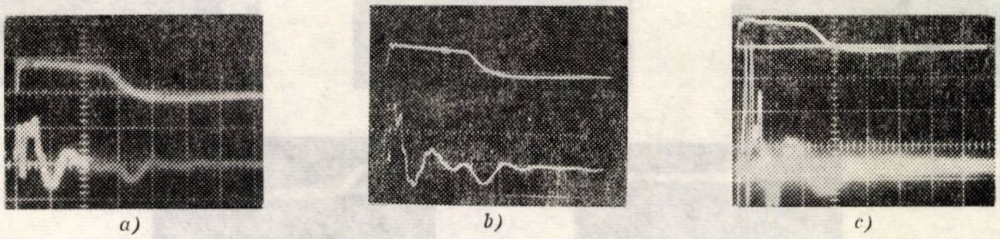
În tabelul 2 se prezintă caracteristicile impulsurilor produse de generatorul ICEMENERG comparativ cu cele obținute de la generatoarele folosite în alte laboratoare.

Pentru vizualizarea și măsurarea impulsurilor s-a folosit un sincroscop ORION. Reducerea amplitudinii impulsurilor la o valoare care să permită urmărirea lor pe sincroscop s-a realizat cu un divizor de tensiune de tip mixt, serie RC.

2.2.3. *Rezultate experimentale*. Impulsurile de joasă tensiune s-au aplicat înainte de efectuarea primelor încercări la scurtcircuit brusc și apoi după fiecare asemenea probă. Cîteva dintre oscilogramele obținute sînt prezentate în figu-

Tabelul 2

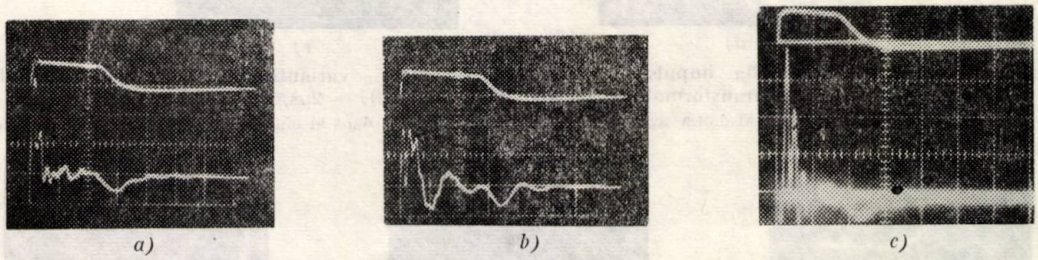
Nr. crt.	Firma care-l utilizează	Caracteristicile impulsurilor de tensiune produse de generatoare						
		Forma	Timpul de creştere [μs]	Durata [μs]	Timpul de descreştere [μs]	Amplitudinea [V]	Frecvenţa de repetiţie [Hz]	Sarcina
1	Bonneville Power Adm.	dreptunghiular	0,1	0,2—2		1500	60	50Ω
2			0,1	0,5		500	60	50Ω
3	Southern California Edison Co.	dreptunghiular	0,02	0,3	0,02	50	60	50Ω
4			0,025	0,5	0,025	500	60	50Ω
5	Electricité de France	dinte de fierăstrău	0,1—1	semiamplitudine 0,15—50		500	1/7	6μF
6	VEI „V. I. Lenin"	dinte de fierăstrău	1,2	semiamplitudine 50		1000		50Ω
7						700		50Ω
8	Westinghouse Electric Co.	dreptunghiular	0,3	1,5	1—2			
9	CCSIT Electroputere Craiova	dreptunghiular	0,012	0,015—100 000		0,2—100	10—1 000 000	
10	ICEMENERG	dreptunghiular	0,2	4,6	1,4	500	50	75Ω



a) *b)* *c)*

Fig. 5. Detecţia defectelor prin metoda impulsurilor de joasă tensiune — varianta de măsurare directă (tabelul 1 — 1.4) la transformatorul de 160 kVA nr. 32113 — 2 μs/cm

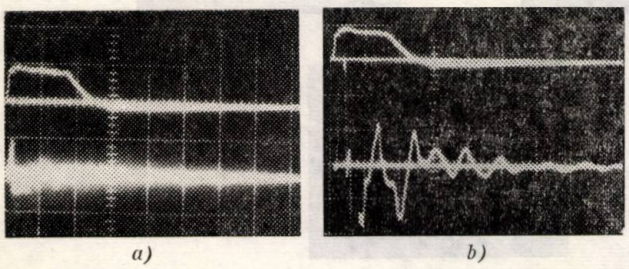
a — înainte de primul scc.; *b* — după al doilea scc.; *c* — după al patrulea scc.



a) *b)* *c)*

Fig. 6. Detecţia defectelor prin metoda impulsurilor de joasă tensiune — varianta de măsurare directă (tabelul 1—1.2 la transformatorul de 160 kVA nr. 32113 — 2μs/cm.

a — după primul scc.; *b* — după al doilea scc.; *c* — după al patrulea scc.



a) *b)*

Fig. 7. Detecţia defectelor prin metoda impulsurilor de joasă tensiune — varianta de măsurare diferenţială (fig. 2) la transformatorul de 160 kVA nr. nr. 32113 — 2μs/cm.

a — după primul scc.; *b* — după al şaselea scc.

rile 5—11. Analizîndu-le, se constată următoarele :

— Folosind măsurile de precauţie menţionate, s-a asigurat o bună reproductibilitate a semnalelor înregistrate.

— Prin metoda impulsurilor de joasă tensiune, începerea deteriorării înfăşurărilor este pusă în evidenţă înainte ca defectul să fie vizibil la decuvare sau să fie detectat prin metoda variaţiei impedanţei de scurtcircuit. Astfel, la transformatoarele de 160 kVA încercate, modificarea oscilogramelor, faţă de cele înregis-

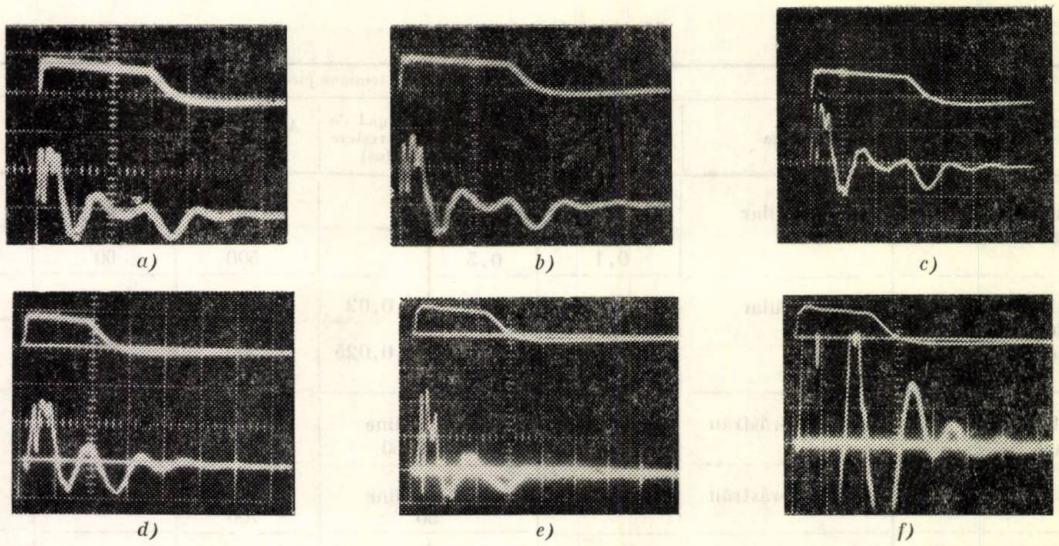


Fig. 8. Detecția defectelor prin metoda impulsurilor de joasă tensiune — varianta de măsurare directă (tabelul 1 —1.4) la transformatorul de 160 kVA nr. 32107 — 2 μs/cm.

a—înainte de primul scc.; *b*—după primul scc.; *c*—după al doilea scc.; *d*—după al patrulea scc.; *e*—după al cincilea scc.; *f*—după al șaselea scc.

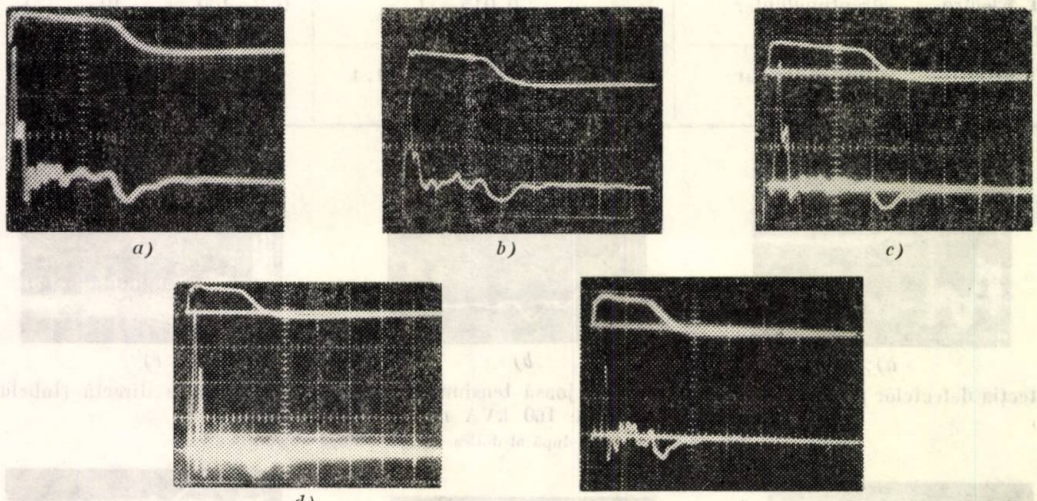


Fig. 9. Detecția defectelor prin metoda impulsurilor de joasă tensiune — varianta de măsurare directă (tabelul 1— 1.2) la transformatorul de 160 kVA nr. 32107 — 2μs/cm

a—înainte de primul scc.; *b*—după al doilea scc.; *c*—după al patrulea scc.; *d*—după al cincilea scc,; *e*—după al șaselea scc.

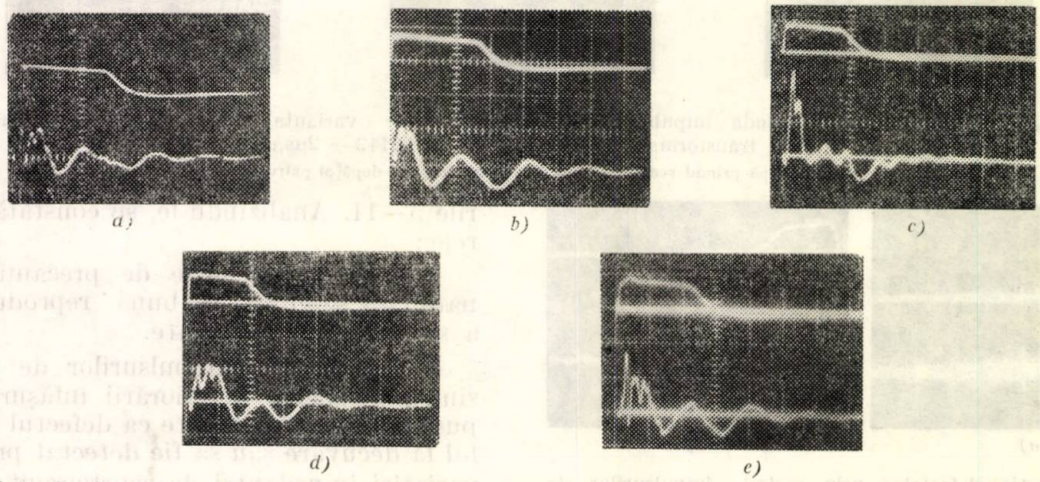
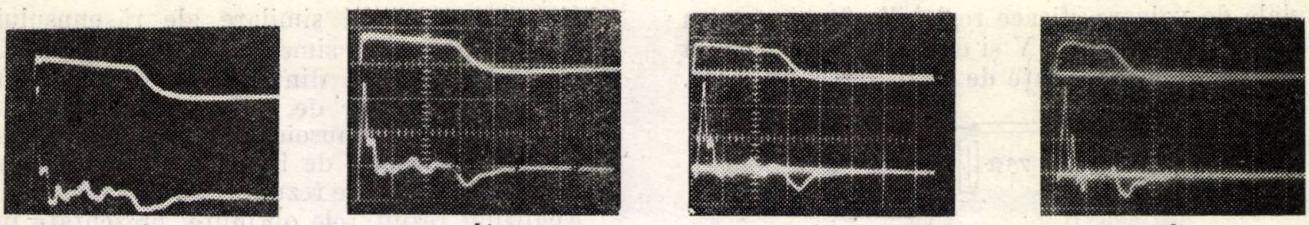


Fig. 10. Detecția defectelor prin metoda impulsurilor de joasă tensiune — varianta de de măsurare directă (tabelul 1 — 1.4) la transformatorul de 100 kVA nr. 23239 — 2μs/cm

a—înainte de primul scc.; *b*—după primul scc.; *c*—după al doilea scc.; *d*—după al treilea scc; *e*—după al patrulea scc.



a) b) c) d)

Fig. 11. Detecţia defectelor prin metoda impulsurilor de joasă tensiune — varianta de măsurare directă (tabelul 1 — 1.2) la transformatorul de 100 kVA nr. 23239 — 2μs/cm

a—înainte de primul scc; *b*—după primul scc; *c*—după al treilea scc; *d*—după al patrulea scc.

trate iniţial, se observă după al patrulea (fig. 5 şi 6) şi, respectiv, al şaselea scurtcircuit brusc (fig. 8 şi 9); deci defectul a devenit vizibil după al şaselea şi, respectiv, al optulea scurtcircuit brusc. La transformatorul de 100 kVA, după al patrulea scurtcircuit brusc se constată o uşoară modificare a oscilogramei (fig. 10 şi 11) faţă de cea iniţială, ea păstrîndu-şi apoi această formă şi după scurtcircuitele ulterioare.

— Cele două variante de măsurare directă au indicat prezenţa defectelor în transformatoare după acelaşi scurtcircuit.

— Măsurarea diferenţială a confirmat prezenţa defectelor în transformatoarele de 160 kVA (fig. 7).

3. Defectoscopia prin metoda analizei răspunsului în frecvenţă

3.1. *Principiul metodei*

Ca şi metoda impulsurilor de joasă tensiune, metoda analizei răspunsului în frecvenţă se bazează tot pe depistarea modificării relative a inductivităţilor şi capacităţilor structurii înfăşurărilor. În 1978, în literatura tehnică de specialitate se consemna activitatea de pionierat pe plan mondial pentru punerea la punct a acestei metode.

Se utilizează un generator de tensiune pentru aplicarea tensiunilor, de formă sinusoidală, de frecvenţe diferite, la o bornă a uneia dintre înfăşurările transformatorului. Se analizează, ca o funcţie de frecvenţă, amplitudinea şi faza semnalelor obţinute de la bornele înfăşurării.

Înainte de a se face măsurătorile, la aplicarea acestei metode, transformatorul se deconectează de la barele staţiei (la toate bornele) pentru a se reduce la minimum influenţa capacităţilor barelor, care pot fi variabile şi neechilibrate, în funcţie de poziţia lor relativă. În cazul în care transformatorul are comutator de reglaj, poziţia acestuia se alege astfel încît în circuit să se afle toată înfăşurarea, pe toate fazele.

Elementul principal al acestei metode este analizorul de reţea, care încorporează trei instrumente distincte: generatorul de tensiuni sinusoidale de frecvenţă variabilă, detectorul raportului amplitudinilor şi al diferenţei fazelor a două semnale şi înregistratorul. Un astfel de analizor, folosit de firma Ontario Hydro, are un domeniu dinamic de 120 dB, o rezoluţie în dB de 0,01 dB şi o rezoluţie în fază de 0,01° [16].

Conectarea analizorului de reţea la bornele transformatorului se face prin cabluri coaxiale terminate prin impedanţa lor caracteristică (pentru a se minimaliza problema reflexiei semnalelor). Unul dintre cabluri se foloseşte pentru aplicarea semnalului de ieşire din generator la una dintre bornele de intrare în transformator. Celelalte cabluri coaxiale sînt folosite pentru aplicarea semnalelor de tensiune şi de curent la bornele de intrare în înfăşurare şi pentru recepţionarea semnalului la borna de ieşire din înfăşurare. Semnalele de tensiune sînt măsurate direct la bornele transformatorului. Bornele celeilalte înfăşurări a transformatorului, nefolosită la analiză, se leagă la pămînt prin cîte o rezistenţă de amortizare de 1 kΩ, în scopul amortizării oscilaţiilor la bornele acestei înfăşurări şi reducerii la minimum a capacităţii la borne. Pentru protecţie împotriva perturbaţiilor produse de reţeaua de alimentare, conectarea la reţea se face printr-un transformator de separare. Carcasele aparatelor, ecranele cablurilor coaxiale şi ecranul transformatorului de separare se conectează la cuva legată la masă a transformatorului încercat.

Frecvenţa tensiunii produse de generator se reglează în trepte, în domeniul 10 kHz—1 MHz.

3.2. *Circuitul şi aparatura de măsură folosite de ICEMENERG*

Schema circuitului folosit în cadrul experienţelor efectuate la ICEMENERG este prezentată în figura 12. În lipsa unui analizor de spectru de frecvenţe, care să permită efectuarea operaţiilor precizate pentru analizorul folosit de firma Ontario Hydro, s-a folosit un amplificator care permite obţinerea la bornele de ieşire (pe o sarcină rezistivă de 2 kΩ) a unei tensiuni sinusoidale de valoare eficace 100 V, în banda de frecvenţe 10 kHz—1 MHz, cu o neuniformitate în bandă de ± 3 dB. Pe o sarcină rezistivă de 75 Ω, tensiunea scade la valori de ordinul volţilor.

Generatorul de tensiune folosit permite obţinerea la bornele sale a unei tensiuni sinusoi-

dale de valoare eficace reglabilă, în trepte sau continuu, pînă la 3 V și de frecvență variabilă în banda de frecvențe de la 10 Hz la 10 MHz.

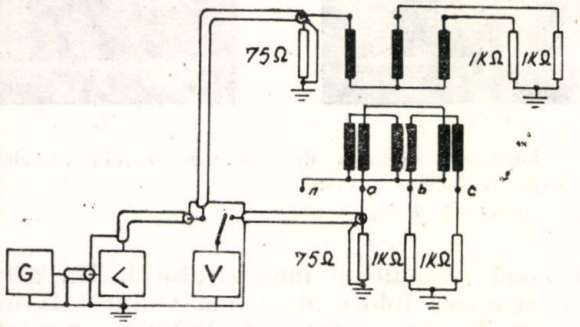


Fig. 12.

Valoarea eficace a tensiunii s-a determinat folosind milivoltmetrul V3—38, fabricat de Punane Ret — U.R.S.S., la care domeniul de frecvență al tensiunii măsurate poate fi de la 20 Hz la 5 MHz.

În figura 13 se prezintă aparatura folosită la ICEMENERG pentru depistarea defectelor în

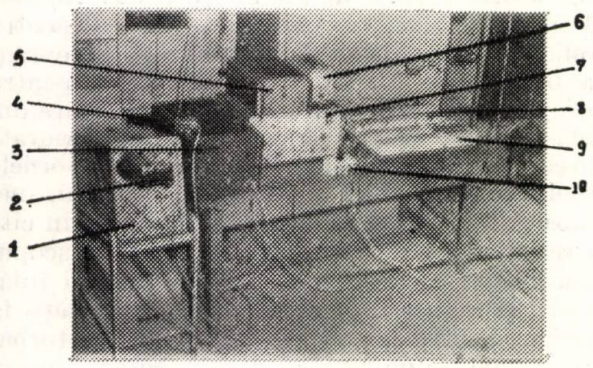


Fig. 13.

1 — sincroscop; *2* — aparat de fotografiat; *3* — generator de impulsuri ICEMENERG; *4* — divizor de tensiune; *5* — amplificator de bandă largă ICEMENERG; *6* — milivoltmetru; *7* — generator de tensiune sinusoidală; *8* — ampermetre; *9* — voltmetre; *10* — comutator.

transformatoarele încercate la scurtcircuit brusc folosind metoda impulsurilor de joasă tensiune, metoda analizei răspunsului în frecvență și metoda măsurării impedanței de scurtcircuit.

3.3. *Rezultate experimentale*

Analiza răspunsului în frecvență s-a efectuat de două ori la fiecare din cele trei transformatoare de distribuție menționate anterior. Prima analiză s-a efectuat înaintea începerii probelor de scurtcircuit. Cea de-a doua analiză, la transformatoarele de 160 kVA, s-a făcut după scurtcircuitul la care s-a constatat modificarea importantă a oscilogramei obținută la aplicarea metodei impulsurilor de joasă tensiune. La transformatorul de 100 kVA, a doua analiză a răspunsului în frecvență s-a efectuat după 19 șocuri la curent maxim.

Pentru reducerea la minimum necesar a numărului măsurătorilor și pentru gruparea acestora astfel încît pentru fiecare grup să se obțină caracteristici similare ale răspunsului (datorită dispunerii simetrice a înfășurărilor), s-a folosit matricea din tabelul 3, conținînd combinația bornelor de intrare (la care s-au aplicat tensiunile sinusoidale produse de generator) și a bornelor de ieșire (de la care s-au recepționat tensiunile rezultante).

Analizînd rezultatele obținute, prezentate în figurile 14—22, se pot face următoarele ipoteze

Tabelul 3

Borne de ieșire	Borne de intrare						
	A	*B*	*C*	*n*	*a*	*b*	*c*
A	A						
B		B					
C			C				
n	An	Bn	Cn	n			
a	Aa			na	a		
b		Bb		nb		b	
c			Cc	nc			c

privind defecțiunile posibile:

a) Transformatorul de 160 kVA nr. 32107

— este afectată izolația între bobine, mai mult pe faza A (fig. 14 și 15);

— defectul cuprinde în mică măsură înfășurarea de joasă tensiune (fig. 16);

b) Transformatorul de 160 kVA nr. 32113

— este afectată izolația dintre înfășurarea de înaltă tensiune (fig. 17 și 18) în mod diferit pe cele trei faze;

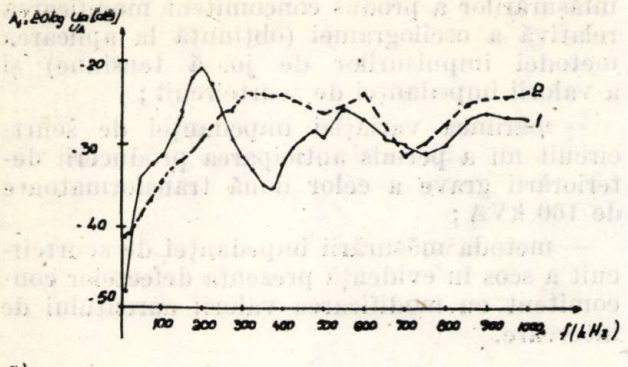
— defectul nu afectează decît în mică măsură înfășurarea de joasă tensiune (fig. 19);

c) Transformatorul de 100 kVA nr. 23239

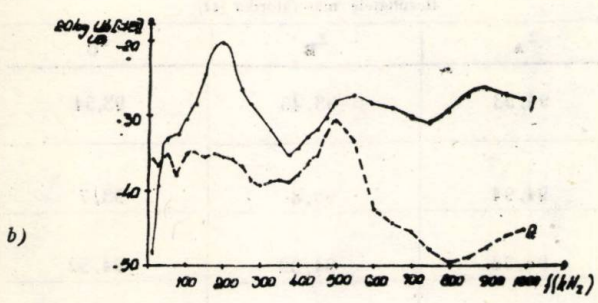
— nu se constată vreun defect nici la înfășurarea de înaltă tensiune (fig. 20 și 21), și nici la înfășurarea de joasă tensiune (fig. 22).

4. Defectoscopia prin măsurarea impedanței de scurtcircuit

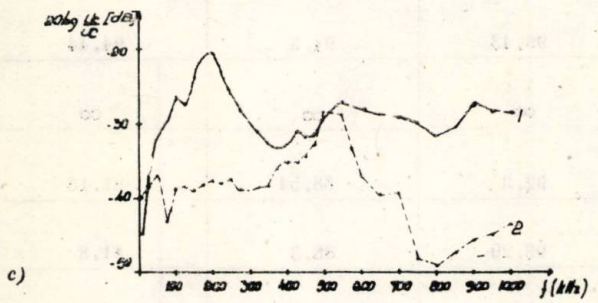
Variația impedanței de scurtcircuit este determinată de modificarea fluxului de scăpări, raportată la ansamblul fluxului de scăpări al coloanei. Deci metoda de defectoscopie bazată pe variația impedanței de scurtcircuit este sensibilă în special la defecte datorate forțelor radiale. Din această cauză este normal ca, în anumite cazuri, metoda impulsurilor de joasă



a)

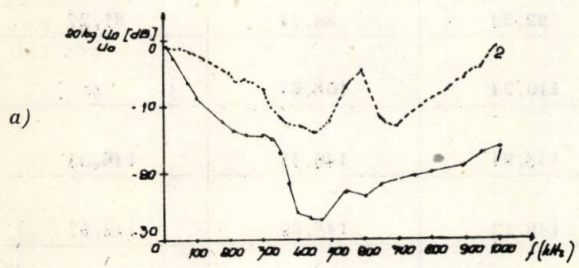


b)

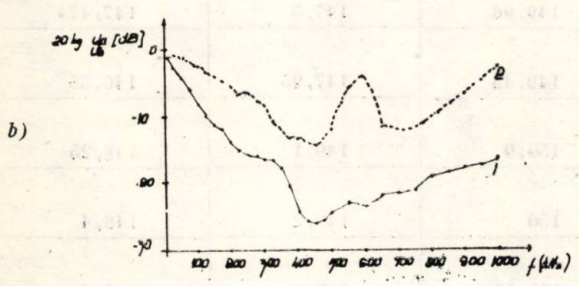


c)

Fig. 14

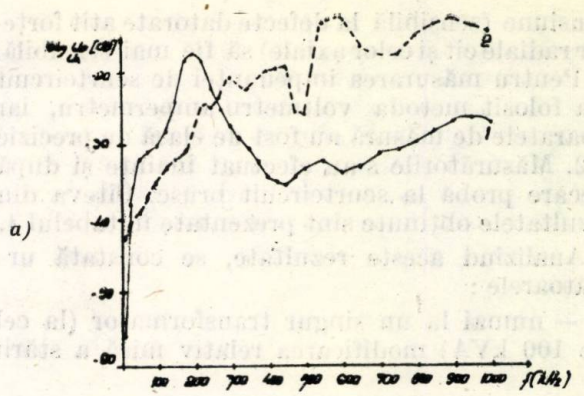


a)

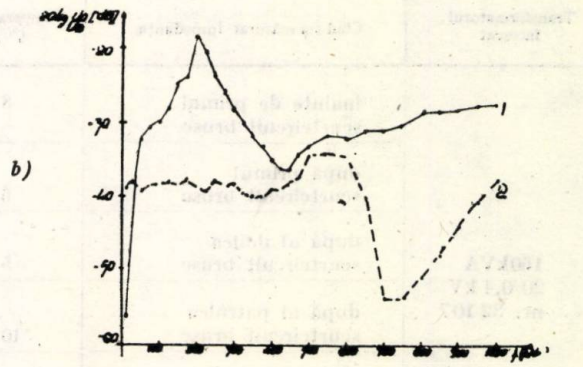


b)

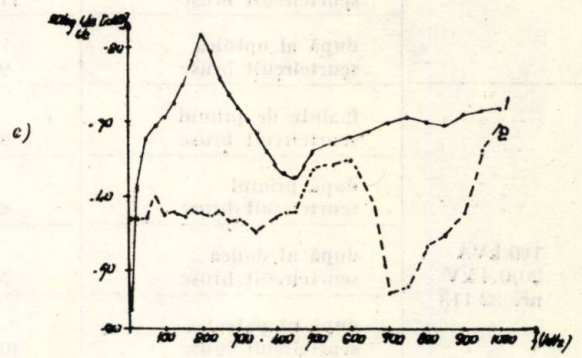
Fig. 16



a)

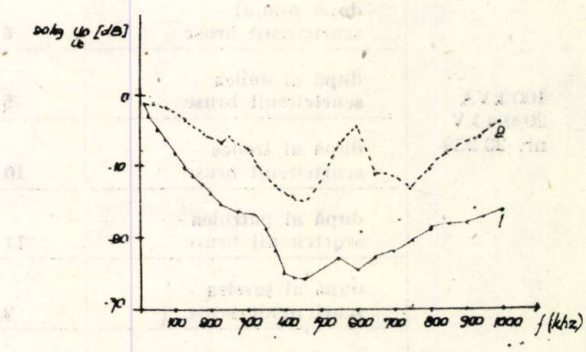


b)



c)

Fig. 15



c)

Fig. 14, 15, 16. Caracteristicile de frecvență ale înfășurărilor transformatorului de 160 kVA nr. 32107.

1 — măsurători înainte de probele de scurtcircuit; *2* — măsurători după probele de scurtcircuit.

tensiune (sensibilă la defecte datorate atît forțelor radiale cît și celor axiale) să fie mai sensibilă.

Pentru măsurarea impedanței de scurtcircuit s-a folosit metoda voltmetru-ampermetru, iar aparatele de măsură au fost de clasă de precizie 0,2. Măsurătorile s-au efectuat înainte și după fiecare probă la scurtcircuit brusc. Cîteva din rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 4.

Analizînd aceste rezultate, se constată următoarele :

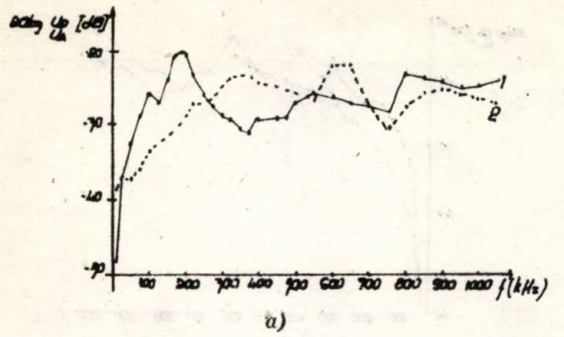
— numai la un singur transformator (la cel de 100 kVA) modificarea relativ mică a stării înfășurărilor a produs concomitent modificarea relativă a oscilogramei (obținută la aplicarea metodei impulsurilor de joasă tensiune) și a valorii impedanței de scurtcircuit ;

— mărimea variației impedanței de scurtcircuit nu a permis anticiparea producerii deteriorării grave a celor două transformatoare de 160 kVA ;

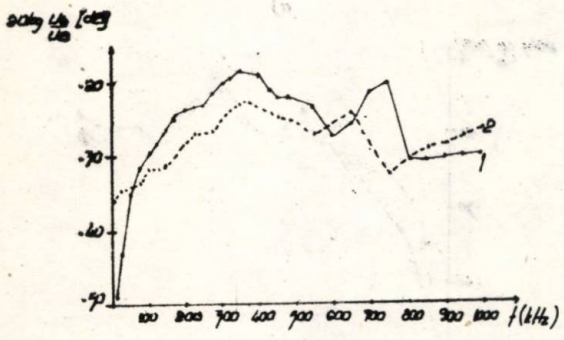
— metoda măsurării impedanței de scurtcircuit a scos în evidență prezența defectelor concomitent cu modificarea valorii curentului de încercare.

Tabelul 4

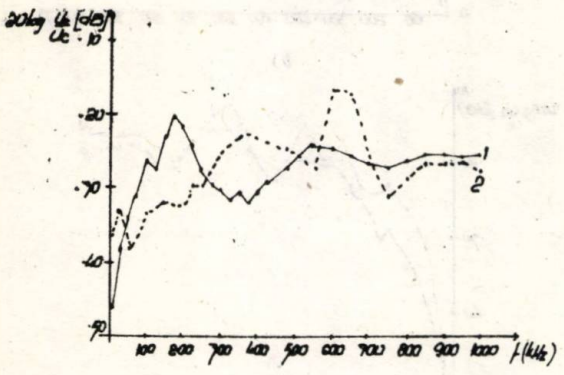
Transformatorul încercat	Cînd s-a măsurat impedanța	Temperatura [°C]	Rezultatele măsurătorilor [Ω]		
			Z_A	Z_B	Z_C
160kVA 20/0,4 kV nr. 32 107	înainte de primul scurtcircuit brusc	8	94,53	93,45	93,54
	după primul scurtcircuit brusc	6	94,94	93,6	93,7
	după al doilea scurtcircuit brusc	5	95,36	94,32	94,52
	după al patrulea scurtcircuit brusc	10	95	93,88	94,02
	după al șaselea scurtcircuit brusc	11	95,43	94,3	94,44
	după al optulea scurtcircuit brusc	9,8	∞	∞	∞
160 kVA 20/0,4 kV nr. 32 113	înainte de primul scurtcircuit brusc	8	92,3	88,54	81,18
	după primul scurtcircuit brusc	6	93,29	88,3	81,8
	după al doilea scurtcircuit brusc	5	91,79	88	81;14
	după al patrulea scurtcircuit brusc	10	92,29	88,74	81,27
	după al șaselea scurtcircuit brusc	11	110,24	108,64	∞
100 kVA 20/0,4 kV nr. 23 239	înainte de primul scurtcircuit brusc	8	148,94	146,43	146,53
	după primul scurtcircuit brusc	6	149,13	148,69	146,67
	după al doilea scurtcircuit brusc	5	149,96	147,3	147,474
	după al treilea scurtcircuit brusc	10	149,42	147,95	146,55
	după al patrulea scurtcircuit brusc	11	150,9	149,1	148,25
	după al șaselea scurtcircuit brusc	9,8	150	149,2	148,4
	după al nouăsprezecelea scurtcircuit	2	149,19	147,8	146,7



a)

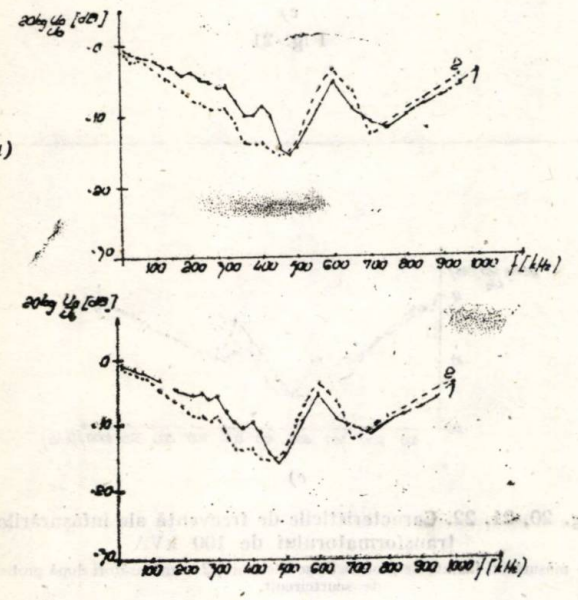


b)



c)

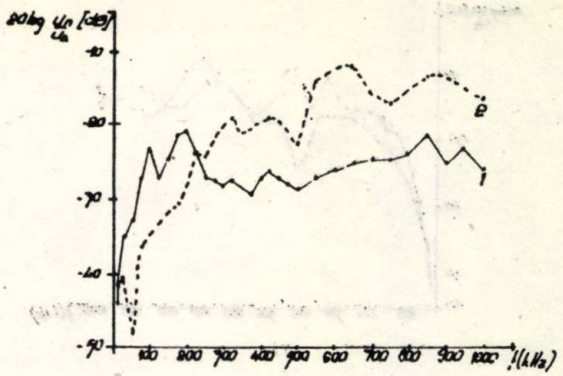
Fig. 17



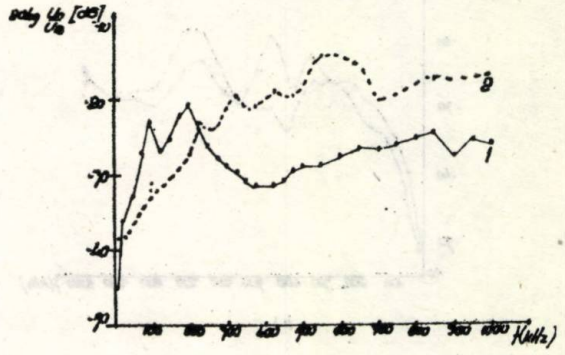
a)

b)

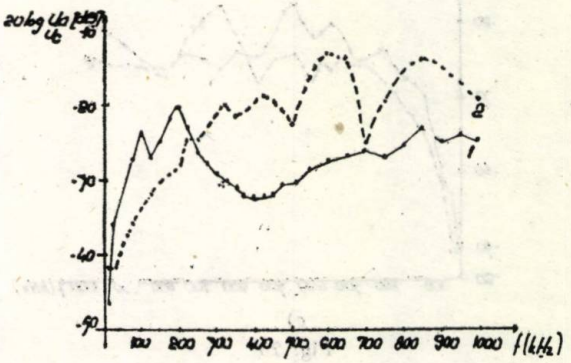
Fig. 19



a)

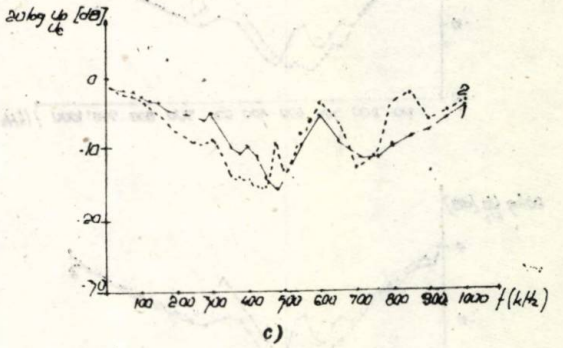


b)



c)

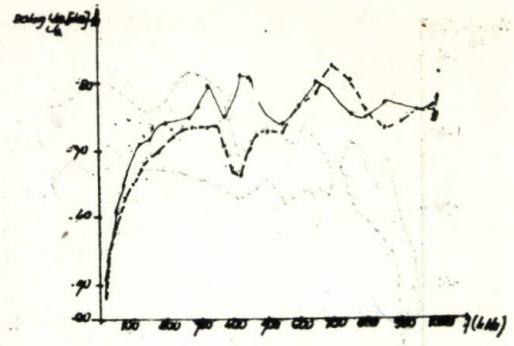
Fig. 18



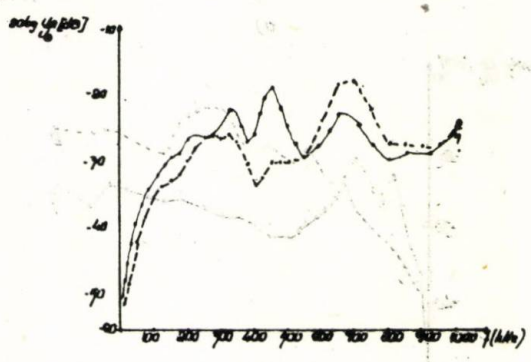
c)

Fig. 17, 18, 19. Caracteristicile de frecvență ale înfășurărilor transformatorului de 160 kVA nr. 32113.

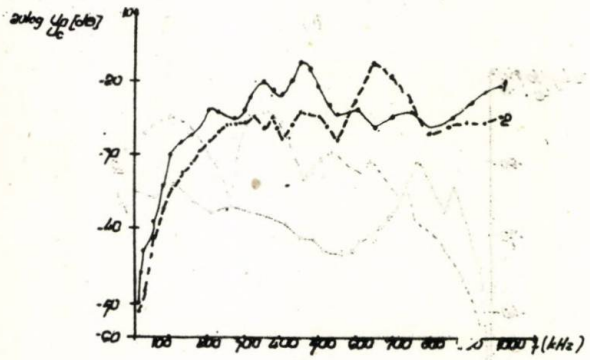
1 — măsurători înainte de probele de scurtcircuit; *2* — măsurători după probele de scurtcircuit.



a)

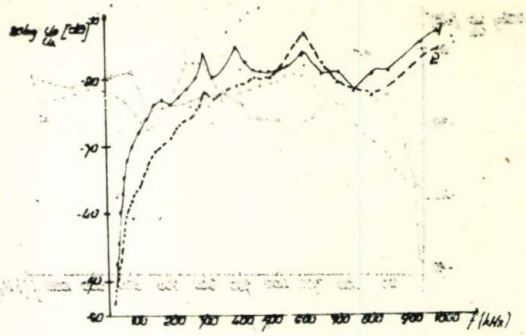


b)

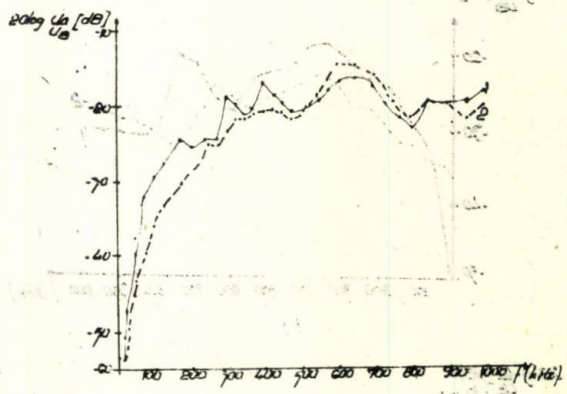


c)

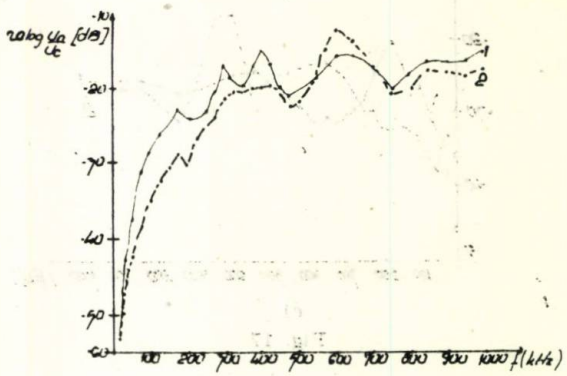
Fig. 20



a)

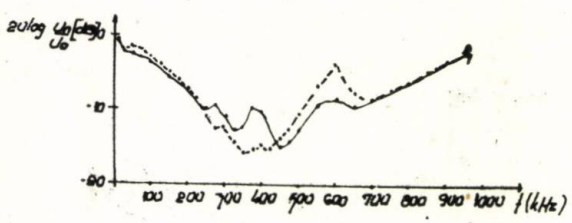


b)

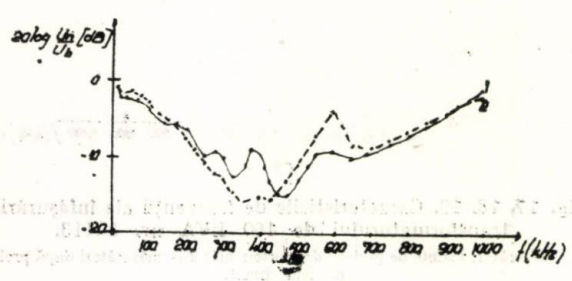


c)

Fig. 21

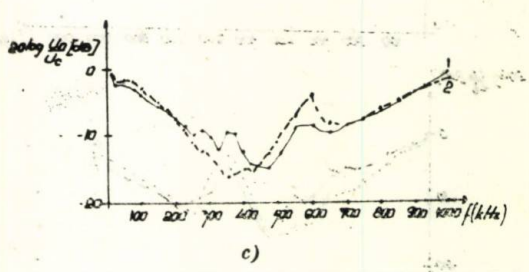


a)



b)

Fig. 22



c)

Fig. 20, 21, 22. Caracteristicile de frecvență ale înfășurărilor transformatorului de 100 kVA

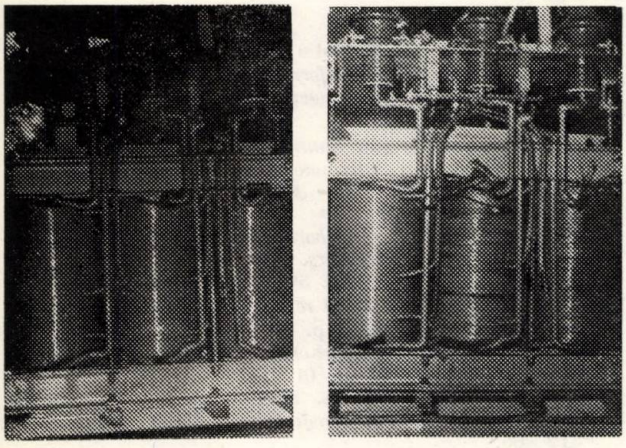
1 — măsurători înainte de probele de scurtcircuit; *2* — măsurători după probele de scurtcircuit.

5. Defectoscopia prin analiza vizuală după decuvare

După fiecare probă de scurtcircuit brusc s-a analizat, vizual, după decuvare, starea părţii active a transformatorului.

La transformatorul de 160 kVA nr. 32107, după cel de-al optulea scurtcircuit brusc, s-a constatat vizual deteriorarea înfăşurărilor (deformarea bobinelor, scurtcircuit între spire, întreruperea bobinelor etc. — fig. 23).

La transformatorul de 160 kVA nr. 32113, după cel de-al şaselea scurtcircuit brusc s-a observat scurtcircuitarea cîtorva spire la bobina de înaltă tensiune de pe coloana C (fig. 24).



a) *b)*

Fig. 23. Transformatorul de 160 kVA nr. 32107 înainte (*a*) şi după (*b*) probele de scurtcircuit brusc.

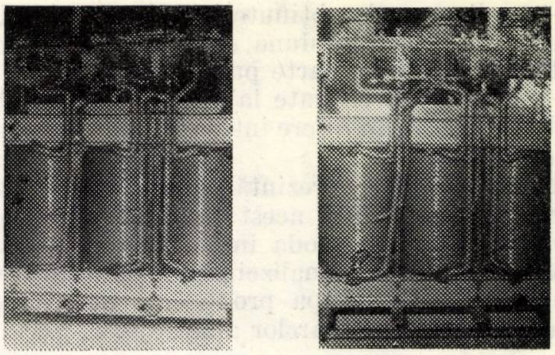


Fig. 24. Transformatorul de 160 kVA nr. 32113 înainte (*a* şi după (*b*) probele de scurtcircuit brusc.

La transformatorul de 100 kV nr. 23239 nu s-a constatat vizual vreun defect după efectuarea a 19 probe de scurtcircuit brusc.

6. Comparaţie între rezultatele obţinute aplicînd cele patru metode principale de detecţie a defectelor

S-au folosit următoarele criterii de acceptare a transformatoarelor la proba de scurtcircuit brusc (ţinînd seama de rezultatele obţinute la aplicarea metodei impulsurilor de joasă tensiune, a metodei analizei răspunsului în frecvenţă, a metodei măsurării impedanţei de scurtcircuit şi a metodei analizei vizuale):

— variaţia impedanţei de scurtcircuit să fie mai mică sau egală cu 2%;

— la examinarea vizuală să nu se observe vreun defect;

Tabelul 5

Metoda de defectoscopie	Criteriul	Încadrarea transformatoarelor analizate în grupe determinate de aplicarea celor patru metode de defectoscopie				
		160 kA nr. 32107		160 kVA nr. 32113		100 kVA
		Înaintea scc. la care s-a declarat defectul prin metode clasice	După ultimul scurtcircuit	Înaintea scc. la care s-a declarat defectul prin metode clasice	După ultimul scurtcircuit	După ultimul scurtcircuit
Examinarea vizuală	Nici un defect	×	—	×	—	×
	Defect grav	—	×	—	×	—
Variaţia impedanţei de scurtcircuit	⩽2%	×	—	×	—	×
	>2%	—	×	—	×	—
Diferenţe între oscilogramele obţinute la aplicarea impulsurilor de joasă tensiune	Deloc sau foarte mici	—	—	—	—	—
	Importante	×	×	×	×	—
Diferenţe între diagramele obţinute la analiza răspunsului în frecvenţă	Deloc sau foarte mici	—	—	—	—	—
	Importante	×	×	×	×	—

— oscilogramele obținute la aplicarea impulsurilor de joasă tensiune să rămînă neschimbate sau să difere foarte puțin;

— diagramele ridicate la analiza răspunsului în frecvență să nu difere între ele decît în limite relativ mici.

În tabelul 5 se prezintă centralizat constatările făcute. Și din acest tabel se poate observa că numai metoda impulsurilor de joasă tensiune și metoda analizei răspunsului în frecvență puteau anticipa producerea deteriorării grave a transformatoarelor analizate.

Concluzii

Comportarea la scurtcircuit brusc a transformatoarelor de putere este o problemă de mare importanță pentru asigurarea funcționării sigure a sistemului energetic și alimentarea neîntreruptă a consumatorilor. Experiența acumulată pînă în prezent arată că numai probele în laborator, și nu calculele, pot da garanția deplină asupra bunei comportări la scurtcircuit brusc a unui anumit tip de transformator. În această idee s-au elaborat condițiile din standardul actual de transformatoare [17] referitoare la această problemă.

Criteriile de acceptare sau rebutare a transformatoarelor de putere la proba de scurtcircuit brusc, menționate în standard, sînt bazate pe metodele clasice de defectoscopie puțin sensibile și de aceea ele nu pot da garanția că verdictul final pozitiv asupra comportării la această probă este absolut corect (este cazul, în special, al defectelor care afectează înfășurarea de lîngă miezul magnetic).

La ICEMENERG s-a pus la punct aparatura necesară aplicării în țară a noilor metode de detecție a defectelor în transformatoarele solicitate la curenți de scurtcircuit, și anume metoda impulsurilor de joasă tensiune și metoda analizei răspunsului în frecvență.

La analiza comparativă efectuată de ICEMENERG, privind sensibilitatea detecției defectelor folosind metoda impulsurilor de joasă tensiune, metoda analizei răspunsului în frecvență, metoda măsurării impedanței de scurtcircuit și metoda analizei vizuale, a reieșit sensibilitatea ridicată a primelor două metode comparativ cu celelalte, ele permițînd punerea în evidență a începerii producerii modificării structurii înfășurărilor.

Datorită sensibilității relativ mari, metodele analizei răspunsului în frecvență și impulsurilor de joasă tensiune se pot folosi la controlul stării transformatoarelor de mare putere din exploatare, după solicitări la eforturile produse de scurtcircuitele din rețea, asigurîndu-se astfel creșterea gradului de încredere în rezultatele verificărilor profilactice efectuate în astfel de cazuri. Pentru aceasta este necesar ca prin alegerea caracteristicilor tehnice ale aparatelor utilizate să se reducă la minimum influența perturbațiilor exterioare asupra rezultatelor.

Pînă la stabilirea criteriilor de acceptare sau rebutare a transformatoarelor de putere la proba de scurtcircuit brusc, bazate pe rezultatele obținute la aplicarea noilor metode menționate, este necesară aplicarea simultană a mai multor metode de detecție, fără însă să se neglijeze evoluția mărimilor măsurate în cursul încercărilor.

Bibliografie

[1] Mathé, B. și Moldoveanu, C. *Încercarea la scurtcircuit brusc a transformatoarelor privită de pe poziția beneficiarului.* În: Energetica nr. 11, 1972, p. 506–512.

[2] Cojocaru, I. ș.a. *Studii privind stabilitatea termică și dinamică a transformatoarelor la scurtcircuit brusc.* În: Comunicări tehnice „Electroputere", nr. 3, 1964, p. 1–12.

[3] Bellaschi, P. S. *Short-circuit capability and testing of power transformers.* În: Transmission and Distribution, nr. 6, 1974, p. 39–41.

[4] Moore, H. R. *Special report for Group 12* (Transformers). CIGRE, 1980, rap. 12–00.

[5] Fallou, M. ș.a. *Short-circuit testing of transformers.* CIGRE, 1980, rap. 12–01.

[6] Kozlowski, M. ș.a. *Selected short-circuit strength problems in power transformers.* CIGRE, 1980, rap. 12–05.

[7] Wators, M. ș.a. *Short-circuit testing of power transformers and detection and location of damage.* CIGRE, 1968, rap. 12–05.

[8] Lech, V. și Tyminski. *Novii metod indikații povrejdenii pri ispitanii transformatorov na dinamiceskuiu procinosti.* În: Elektricestvo, nr. 1, 1966, p. 77–81.

[9] Avetikov, G. V. ș.a. *Impulsnoe defektografirovanie transformatorov pri ispitaniah na elektrodinamiceskuiu stoikosti.* În: Elektrotehnika, nr. 4, 1978, p. 53–57.

[10] Kulikowski, J. ș.a. *Expérience acquise dans les essais de court-circuit des transformateurs.* CIGRE, 1968, rap. 12–13.

[11] Rogers, E. ș.a. *Instrumentation techniques for low voltage impulse testing of power transformers.* IEEE Summer Meeting 1971, paper 71 TP 535-PWR.

[12] Nelson, P. Q. și Phillips, C. E. *Short-circuit testing of medium power transformers by Southern Californian Edison Co.* Part. II — *Low voltage impulse measurements.* În: IEEE-PAS, nr. 2, 1974, p. 512–553.

[13] Gillies, D. A. ș.a. *Bonneville Power Administration transformer short-circuit test results — comparison of winding inspection with diagnostic methods.* În: IEEE-PAS, nr. 3, 1973, p. 934–942.

[14] Merigot, C. *Contrôle des essais de tenue aux court-circuits des transformateurs par la méthode des chocs à basse tension.* În: Bull. EdF — DER, seria B, p. 51–69.

[15] Rogers, E. și Gillies, D. A. *Transformer winding deformation detection input and voltage differential methods.* În: IEEE — PAS, nr. 5, 1974, p. 1595–1603.

[16] Dick, E. P. și Erven, C. C. *Transformer diagnostic testing by frequency response analysis.* În: IEEE-PAS, nr. 6, 1978, p. 2144–2153.

[17] * * * *Transformatoare de putere.* STAS 1703–80.

(Articol intrat în redacție la 2 februarie 1981

Un punct de vedere cu privire la determinarea valorilor remanente

Prof. dr. ing. **P. Buhuș**
și șef lucr. ing. **Gh. Comănescu***)

1. Problema studiată

Pentru caracterizarea valorii unei instalații energetice la diferitele etape ale vieții sale, în studiile tehnico-economice sînt utilizate trei noțiuni: *valoarea inițială*, *valoarea reziduală* — egală cu valoarea materialelor recuperate după dezafectare — și *valorile remanente* ale instalației la diferitele momente ale duratei sale de exploatare.

Printre cazurile în care este necesară determinarea valorii remanente pot fi citate studiile în care se compară variante tehnice cu durate de viață diferite și analizele privind oportunitatea unor înlocuiri ori rocade de echipamente, de exemplu, în vederea reducerii pierderilor de energie.

În literatura de specialitate sînt propuse diverse relații pentru calculul valorilor remanente, în general fără indicarea ipotezelor luate în considerare la stabilirea acestor relații.

În cele ce urmează se prezintă ipotezele și modul de determinare a unei relații cu caracter mai general, prin particularizarea căreia rezultă o bună parte dintre relațiile cunoscute. Totodată se fac unele aprecieri cu privire la rezultatele numerice obținute în diverse ipoteze de calcul al valorilor remanente.

Notațiile folosite în lucrare:

- a — rata anuală de actualizare;
- D — durata dintre punerea în funcțiune și dezafectarea instalației;
- d — durata dintre punerea în funcțiune și anul la care se determină valoarea remanentă;
- F — factor care indică fracțiunea neamortizată după d ani de la punerea în funcțiune;
- $T_{a,u/t}$ — mărimea actualizată cu ratele a și u a duratei calendaristice t;
- u — rata anuală de micșorare a valorii datorită uzurii morale;
- V — valoare actualizată la anul punerii în funcțiune;
- v — valoare neactualizată;
- V_0 — valoarea inițială;
- v_R — valoarea reziduală neactualizată.

2. O expresie generală a valorii remanente

Valoarea inițială V_0 a unei instalații poate fi considerată ca o sumă de două componente, și anume valoarea amortizabilă V_{amD} în întreaga durată de viață D și valoarea reziduală V_R:

$$V_0 = V_{amD} + V_R = (V_0 - V_R) + V_R. \quad (1)$$

În relația de mai sus, toate valorile sînt exprimate în unități monetare corespunzătoare unui același an de referință, respectiv actualizate la anul punerii în funcțiune. În această ipoteză, dacă v_R este valoarea reziduală exprimată în unități monetare corespunzătoare anului D, mărimea ei actualizată cu o rată a este:

$$V_R = \frac{v_R}{(1+a)^D}, \quad (2)$$

iar valoarea amortizabilă actualizată are expresia:

$$V_{amD} = V_0 - \frac{v_R}{(1+a)^D}, \quad (3)$$

În conformitate cu relația (1), mărimea actualizată a valorii remanente dintr-un an d poate fi exprimată în următoarea formă:

$$V_{r(d)} = V_{amD}F + V \quad (4)$$

în care factorul F reprezintă fracțiunea rămasă neamortizată după scurgerea a d ani de la punerea în funcțiune.

Avînd în vedere relațiile (2) și (3), expresia generală a valorii remanente actualizate devine:

$$V_{r(d)} = \left[V_0 - \frac{v_R}{(1+a)^D}\right]F + \frac{v_R}{(1+a)^D} \quad (5)$$

3. Exprimarea factorului F în diverse ipoteze

Fie un șir de valori anuale v, egale între ele numeric, dar exprimate fiecare în unități monetare corespunzătoare anului respectiv.

Vom impune condiția ca prin D astfel de cote anuale să se reconstituie întreaga valoare inițială V_{amD} și totodată să se realizeze venitul net cu care ar fi de așteptat ca acest efort de investiții să contribuie la creșterea economică în condițiile unei eficiențe anuale a. Ca urmare, actualizînd fiecare cotă anuală în parte la momentul inițial, suma valorilor astfel obținute se egalează cu mărimea totală a valorii amortizabile:

$$V_{amD} = \frac{v}{1+a} + \frac{v}{(1+a)^2} + \ldots + \frac{v}{(1+a)^D} \quad (6)$$

Suplimentar, se mai poate lua în considerare și diminuarea în timp a valorii amortizabile cu o rată anuală medie u datorată uzurii morale a instalațiilor. În această ipoteză, relația (6) devine

$$V_{amD} = v \cdot \sum_{i=1}^{D} \frac{1}{[(1+a)(1+u)]^i}, \quad (7)$$

*) Autorii sînt cadre didactice la Institutul politehnic București.

valoarea cotelor anuale v fiind în creştere odată cu mărirea ratei u.

Fie „*mărimea actualizată cu ratele* a *şi* u *a duratei calendaristice* t", definită prin expresia:

$$T_{a,\,u/t} = \sum_{j=1}^{t} \frac{1}{[(1+a)(1+u)]^j} =$$

$$= \frac{1-[(1+a)(1+u)]^{-t}}{(1+a)(1+u)-1}, \qquad (8)$$

indicatorul T avînd dimensiunea unui timp.

Folosind acest indicator, relaţia (7) poate fi scrisă într-o formă mai simplă şi pe care o considerăm mai sugestivă

$$V_{amD} = vT_{a,\,u/D}, \qquad (9)$$

iar valoarea unei cote calendaristice v rezultă:

$$v = \frac{V_{amD}}{T_{a,\,u/D}} \qquad (10)$$

Pentru determinarea valorii amortizate în primii d ani de exploatare, în termenul din partea dreaptă al relaţiei (7) se însumează numai primii d termeni:

$$V_{am\,d} = vT_{a,u/d}. \qquad (11)$$

Fracţiunea F rămasă neamortizată după d ani de la punerea în funcţiune a instalaţiei este:

$$F = \frac{V_{am\,D} - V_{am\,d}}{V_{am\,d}}. \qquad (12)$$

Avînd în vedere relaţiile (10) şi (11) şi scoţînd în evidenţă dependenţa factorului F de parametrii a, u şi d, relaţia (12) devine:

$$F_{(a,\,u,\,d)} = 1 - \frac{T_{a,\,u/d}}{T_{a,\,u/D}}. \qquad (13)$$

În cazul în care în relaţia (13) se consideră nule atît rata uzurii morale u, cît şi rata de actualizare a, expresia factorului F devine:

$$F_{(d)} = 1 - \frac{d}{D}. \qquad (14)$$

Factorul $F_{(d)}$ reprezintă fracţiunea din totalul valorii amortizabile, în condiţiile unei diminuări în timp liniare şi neactualizate a acestei valori.

4. Expresiile valorii remanente stabilite cu factorul $F(a,\ u,\ d)$

4.1. Introducînd în relaţia de definiţie (5) expresia fracţiunii neamortizate (13), se obţine următoarea relaţie cu caracter general pentru valoarea remanentă actualizată la anul anterior punerii în funcţiune:

$$V_{r(d)} = \left[V_0 - \frac{v_R}{(1+a)^D}\right]\cdot\left(1 - \frac{T_{a,\,u/d}}{T_{a,\,u/D}}\right) + \frac{v_R}{(1+a)^D}. \qquad (15)$$

Avînd în vedere expresia (8), raportul celor două durate actualizate cu ratele a şi u se calculează cu relaţia:

$$\frac{T_{a,\,u/d}}{T_{a,\,u/D}} = \frac{1-[(1+a)(1+u)]^{-d}}{1-[(1+a)(1+u)]^{-D}}. \qquad (16)$$

4.2. Dacă se consideră rata corespunzătoare uzurii morale $u = 0$, faţă de cazul anterior, se modifică doar expresia raportului celor două durate actualizate:

$$\frac{T_{a/d}}{T_{a/D}} = \frac{1-(1+a)^{-d}}{1-(1+a)^{-D}}. \qquad (17)$$

4.3. Particularizînd în continuare, respectiv în cazul $v_R = 0$ şi $u = 0$, valoarea remanentă actualizată devine:

$$V_{r(d)} = V_0\left(1 - \frac{T_{a/d}}{T_{a/D}}\right) = V_0\left[1 - \frac{1-(1+a)^{-d}}{1-(1+a)^{-D}}\right], \qquad (18)$$

5. Expresiile valorii remanente stabilite cu factorul $F_{(d)}$

5.1. Factorul $F_{(d)}$ reprezintă fracţiunea din totalul valorii amortizabile în condiţiile unei diminuări în timp liniare şi neactualizate a acestei valori. Ca urmare, considerînd în relaţia de definiţie (5) rata de actualizare $a = 0$ şi introducînd expresia (14) a factorului $F_{(d)}$, se obţine următoarea expresie a valorii remanente neactualizate:

$$v_{r(d)} = (V_0 - v_R)\left(1 - \frac{d}{D}\right) + v_R. \qquad (19)$$

Actualizînd expresia (19) cu d ani în urmă, se obţine relaţia de calcul a valorii remanente actualizate la anul anterior punerii în funcţiune:

$$V_{r(d)} = \frac{1}{(1+a)^d}\left[(V_0 - v_R)\left(1 - \frac{d}{D}\right) + v_R\right]. \qquad (20)$$

Tabelul 1

Valori remanente actualizate cu rată $a = 8\%$ la anul anterior punerii în funcțiune și exprimate în procente din valoarea inițială

Durata de viață *)	Factorul F	u %	v_R/V_0 %	d, ani					
				0	3	6	9	12	15
$D = 15$ ani	$F(a, u, d)$	0	0	100	69,9	46,0	27,0	12,0	0,0
			10	100	70,8	47,7	29,3	14,7	3,2
			20	100	71,8	49,4	31,6	17,5	6,3
		3	0	100	65,7	40,8	22,7	9,6	0,0
			10	100	66,8	42,7	25,1	12,4	3,2
			20	100	67,9	44,5	27,6	15,3	6,3
	$F(d)$	—	0	100	63,5	37,8	20,0	7,9	0,0
			10	100	65,1	40,3	23,0	11,1	3,2
			20	100	66,7	42,9	26,0	14,3	6,3
	Factorul	u	v_R/V_0	d, ani					
	F	%	%	0	5	10	15	20	30
$D = 30$ ani	$F(a, u, d)$	0	0	100	64,5	40,4	24,0	12,8	0,0
			10	100	64,9	41,0	24,7	13,7	1,0
			20	100	65,2	41,6	25,5	14,5	2,0
		3	0	100	56,9	31,7	16,5	8,1	0,0
			10	100	57,4	32,3	17,7	9,0	1,0
			20	100	57,8	33,0	18,5	9,9	2,0
	$F(d)$	—	0	100	56,7	30,9	15,8	7,2	0,0
			10	100	57,8	32,4	17,3	8,6	1,0
			20	100	59,0	34,0	18,9	10,0	2,0
	Factorul	u	v_R/V_0	d, ani					
	F	%	%	0	5	10	30	60	150
$D = 150$ ani	$F(a, u, d)$	0	0	100	68,0	46,3	8,8	0,9	0
	$F(d)$	—	0	100	65,8	43,2	8,0	0,6	0

*) *NOTĂ.* Durate de serviciu normate prin Decretul 393/76: 15 ani pentru motoare cu ardere internă; 30 ani pentru echipamente din CTE și stații electrice; 150 ani pentru baraje CHE.

5.2. În cazul $v_R = 0$ se obține relația cea mai comodă pentru calculele practice:

$$V_{r(d)} = \frac{V_0}{(1+a)^d}\left(1 - \frac{d}{D}\right). \qquad (21)$$

Concluzii

1. Dintre relațiile deduse în lucrare pentru calculul valorilor remanente, un caracter mai judicios și mai general îl are relația (15). În principiu, această relație permite a fi luați în considerare principalii parametri care pot condiționa variația în timp a valorilor remanente. Totuși, trebuie avut în vedere că în practică rezultatele obținute cu relația (15) sînt condiționate de gradul scăzut de exactitate cu care pot fi obișnuit estimate valoarea reziduală v_R și rata medie u corespunzătoare uzurii morale.

2. Majoritatea relațiilor de calcul al valorii remanente citate în literatura de specialitate reprezintă cazuri particulare ale relațiilor (15) și (20), deduse în lucrare pe baza relației de definiție (5).

3. Relaţiile (20) şi (21) — stabilite în ipoteza unei micşorări liniare neactualizate a valorii amortizabile — pentru o rată de actualizare $a = 8\%$ conduc la valori apropiate de cele care se obţin cu relaţia (15) în condiţiile unei rate a uzurii morale de ordinul a 3% (tabelul 1).

4. Gradul de confidenţă cu care pot fi cunoscute, la etapa de decizie în proiectare, mărimile parametrilor de care depinde valoarea remanentă este obişnuit scăzut. Ca urmare, considerăm că în calculele tehnico-economice pot fi folosite cu rezultate mulţumitoare fie relaţia (21) — atunci cînd în principiu este indicat să se ţină seama de uzura morală —, fie relaţia (18) — în cazurile în care uzura morală poate fi considerată neglijabilă.

(Articol intrat în redacţie la 27 ianuarie 1981)

Aspecte ale utilizării apelor geotermale ca agent primar în schimbătoarele de căldură*)

Conf. dr. ing. E. Şandru
geol. I. Cohut
ing. I. Suciu**)

1. Direcţiile de utilizare a energiei geotermale. Stadiul actual al problemei

Între resursele energetice existente, energia geotermală ocupă o poziţie din ce în ce mai avansată, avînd calitatea de a putea fi utilizată atît direct, sub formă de căldură, cît şi indirect, în producerea electricităţii. Cîmpul larg de utilizare a resurselor geotermale — de la cîteva zeci de grade la două sute de grade — face din acestea o energie a cărei valorificare se impune să fie abordată, în sensul încadrării sale în categoria surselor energetice principale.

Utilizarea directă a energiei geotermale, care reprezintă latura dominantă a exploatării sale, are avantaje deosebite, între care :

— randament ridicat al utilizării ;

— posibilitatea exploatării resurselor de temperatură relativ scăzută, improprii conversiei căldură-electricitate ;

— posibilitatea utilizării echipamentului obişnuit pentru transferul de căldură ;

— timp redus de punere în exploatare, comparativ cu exploatarea electrică ;

— cost redus de investiţie şi exploatare.

În anii 1977—1978 costul specific al energiei geotermale reprezenta 60—75% din cel corespunzător energiei combustibililor fosili, dar în contextul energetic actual aceste procente sînt substanţial diminuate.

Direcţiile principale de utilizare a energiei geotermale acoperă o arie vastă, şi anume :

a) încălzirea sau răcirea spaţiilor ;

b) dezvoltarea industrială ;

c) dezvoltarea ramurilor agriculturii.

În cadrul acestor direcţii, pe scara temperaturilor se înscriu cele mai variate procese, începînd cu vaporizarea soluţiilor de concentraţie ridicată, răcirea prin absorbţie amoniacală, uscarea diatomitei, a lemnului şi a diferitelor alimente, obţinerea aluminei, care se desfăşoară la temperaturi aproape de 200°C, deci în zona propice şi pentru utilizări electrice. Urmează procesele de distilare a apei de mare, uscare a elementelor de construcţie, a materiilor organice, încălzirea incintelor, creşterea animalelor, crearea regimului termic în sere etc. Apele cu temperaturi scăzute, care pot ajunge pînă la 20°C, îşi găsesc utilizarea în cultura ciupercilor, scopuri balneare, încălzirea solului, apă caldă, biodegradare, fermentaţii, dezgheţare, piscicultură.

Resursele geotermale satisfac astăzi o parte din cererea de energie, iar în unele ţări au o pondere hotărîtoare în energetică. Modificările survenite în ultimii ani pe piaţa energetică mondială au determinat o schimbare a punctului de vedere în această problemă şi depăşirea barierei psihologice, care a fost multă vreme un obstacol în calea promovării utilizării energiei geotermale pe scară largă. În acelaşi context a fost soluţionată şi problema economică, economicitatea aplicaţiilor directe, neelectrice, fiind astăzi demonstrată. Rămîn astfel de soluţionat problemele de ordin tehnic, în cadrul cărora cele privind transferul de căldură, schimbătoarele de căldură şi sistemele de utilizare a căldurii ocupă un loc important. Realizarea, testarea şi utilizarea diferitelor tipuri de schimbătoare de căldură trebuie să ţină seama de caracteristicile agentului geotermal, atît de diferite de la o sursă la alta : compoziţia chimică, coroziunea, depunerile de săruri minerale etc.

2. Caracteristici ale agenţilor geotermali. Metode de transfer de căldură. Tipuri de schimbătoare de căldură

Compoziţia chimică a fluidelor geotermale este foarte variată, în funcţie de natura sursei şi de condiţiile în care acestea sînt generate. La nivelul sursei, apele conţin substanţe minerale şi gaze dizolvate, formînd astfel o soluţie multicomponentă, aflată în echilibru la o anumită presiune, denumită presiune critică. Mo-

*) Comunicare prezentată la a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din România. Braşov, 4—6 dec. 1980.

**) Conf. dr. ing. Emil Şandru şi ing. Ioan Suciu sînt cadre didactice la Institutul de construcţii Bucureşti ; geol. Ioan Cohut lucrează la IFLGS — Oradea.

dificarea presiunii sau a temperaturii soluției determină ruperea echilibrului, apariția degazării și a depunerilor. Pe lîngă parametrii termodinamici, fenomenul este influențat și de parametrii hidrodinamici: debit în circulație, materialul suprafeței, rugozitate, prezența particulelor solide în suspensie. Prevenirea formării depunerilor pe suprafețele de transfer de căldură trebuie să aibă în vedere:

— exploatarea la presiune critică sau supracritică;

— combaterea depunerilor prin folosirea inhibitorilor;

— asigurarea depunerilor în spații largi;

— utilizarea cîmpului magnetic pentru a împiedica depunerile dure pe suprafețele de transfer de căldură, îndeosebi cele de bioxid de siliciu.

Cunoașterea compoziției chimice și a parametrilor termodinamici este importantă atît pentru studiul depunerilor, cît și în legătură cu efectele corosive, nocive sau cele privind protecția mediului înconjurător. Coroziunea este determinată de conținutul de acid carbonic liber, p*H*, temperatura și concentrația de oxigen dizolvat, cît și de factorii hidraulici, între care trebuie menționată cavitația. Apele geotermale cele mai agresive dizolvă crustele de depuneri minerale și corodează materialul conductei, dacă acesta nu are calități anticorosive. Componentele nocive care pot fi prezente sînt: H_2S, NH_3, cloruri, compuși ai borului, elemente radioactive.

Eliminarea fluidelor geotermale uzate prezintă un important impact ecologic. Acestea determină o poluare chimică, dar și una termică, datorită temperaturii lor ridicate. Sînt cunoscute diferite metode de evacuare nepoluantă a fluidelor geotermale, dar reinjectarea lor are avantajul menținerii presiunii în zăcămînt și al încetinirii procesului de epuizare a acestuia.

Caracteristicile fluidelor geotermale trebuie cunoscute în detaliu la proiectarea unui sistem geotermal. Diferențierea netă a apelor geotermale exclude soluții generale de proiectare. Chiar în limitele aceleiași surse, apele pot prezenta variații mari de compoziție și comportare, ca urmare a multitudinii de factori care au o influență complexă. Adoptarea celui mai adecvat echipament de transfer de căldură impune investigații experimentale bine programate și desfășurate în intervale de timp suficient de largi pentru a da rezultate concludente.

Metodele de transfer de căldură urmăresc să asigure preluarea căldurii geotermale la randamente superioare, în condițiile unei exploatări sigure și de durată. Sînt folosite, în general, patru metode de transfer de căldură:

a) încălzirea indirectă cu apă;

b) încălzirea indirectă cu abur;

c) încălzirea prin contact direct al apei nemineralizate cu aburul geotermal;

d) încălzirea directă a diferitelor fluide în apă geotermală și separarea acestora ca urmare a vaporizării etc.

Încălzirea directă cu apă geotermală prezintă dezavantajul depunerilor care afectează atît transferul de căldură în timp, cît și debitul în circulație. La depuneri mari se poate ajunge la obturarea secțiunii de curgere.

Încălzirea indirectă cu abur implică o destindere a apei geotermale, în urma căreia se obțin vapori ce condensează pe suprafețele de transfer de căldură, cedînd căldura de condensare, care are valori ridicate. Transferul de căldură este substanțial îmbunătățit, fiind eliminată depunerea. Inconvenientele constau în debitul mic de abur rezultat în urma destinderii (ceea ce impune utilizarea termică a fazei lichide rezultate) și în gazele conținute în abur, care pot diminua transferul de căldură și determina corodarea materialului prin dizolvarea lui în pelicula lichidă de pe suprafață.

În cazul încălzirii directe a apei nemineralizate din rețea cu abur geotermal, se obține apă cu calități bune pentru încălzire. Amestecul se face în ejectoare care utilizează ca agent motor aburul. Metoda se aplică în situația în care aburul nu poate fi trecut direct pe suprafața de transfer de căldură din cauza agresivității sale.

Între celelalte metode de transfer de căldură este de menționat vaporizarea unei hidro- sau fluorocarburi prin trecerea sa în masa de apă geotermală. Metoda se pretează la utilizările electrice, cînd agentul de lucru vaporizează în acest mod. Se desprinde, de asemenea, metoda transferului de căldură în pat fluidizat, cînd particule solide sînt antrenate de apa geotermală, determinînd intensificarea transferului de căldură. Antrenarea particulelor solide pe traseul apei geotermale, în schimbătorul de căldură, determină și o „spălare" a suprafeței, împiedicînd formarea depunerilor. Vitezele de circulație trebuie însă astfel alese, încît să împiedice eroziunea suprafețelor în contact cu particulele antrenate în lichid.

Schimbătoarele de căldură aferente exploatărilor geotermale asigură transferul de căldură prin una dintre metodele de mai sus. În faza de proiectare trebuie să se țină seama de doi factori importanți: materialul din care se execută și tipul ce urmează să fie adoptat.

Alegerea materialului trebuie să aibă în vedere o bună conductivitate termică, rezistență ridicată la coroziune, suprafețe netede pentru a nu facilita apariția depunerilor, rezistență mecanică și cost scăzut. S-au utilizat practic toate materialele: oțel moale obișnuit, oțeluri inoxidabile superioare, cupru, teflon, mase plastice etc. Experiența arată că nici în această privință nu pot fi date rețete, testele

la sursă urmînd să furnizeze date cu privire la comportarea diferitelor materiale.

Tipurile de schimbătoare de căldură pot fi, de asemenea, dintre cele mai variate. S-au încercat, practic, toate tipurile : multitubulare, în serpentină, în spirală, cu plăci, în pat fluidizat etc. Şi aici se manifestă diferiţi factori, a căror influenţă trebuie avută în vedere : asigurarea unor rate ridicate ale transferului de căldură, căderi de presiune în limitele impuse, exploatare şi întreţinere uşoară, durată mare de funcţionare, cost redus de investiţie şi exploatare. Alături de schimbătoarele multitubulare, se întîlnesc frecvent utilizări ale schimbătoarelor de căldură cu plăci, ca urmare a avantajelor pe care le prezintă privind rezistenţa la coroziune (se construiesc din oţel inoxidabil), transfer de căldură bun, reparaţie şi curăţire uşoară, posibilităţi de extindere.

În condiţiile actuale din ţara noastră, schimbătoarele de căldură de tip multitubular se dovedesc a fi cele mai avantajoase (cost redus, materiale obişnuite).

Transferul de căldură este însă serios afectat de grosimea stratului de depuneri, dacă nu se iau măsuri de prevenire a acestora. În figura 1 este ilustrată variaţia fluxului termic pe metru liniar de ţeavă cu diametrul de $50 \times 2{,}5$ mm, în funcţie de grosimea depunerilor, la diferite viteze de circulaţie în interior ale apei geotermale şi diferite condiţii la exterior (suprafaţa scăldată de lichid cu coeficientul de convecţie $\alpha_e = 1500$ W/m$^2 \cdot$ K, sau de gaz $\alpha_e = 20$ W/m$^2 \cdot$ K).

Se constată că sporirea vitezei la interior nu afectează practic transferul de căldură. Îngroşarea stratului de depuneri nu are o influenţă hotărîtoare la schimbătoarele de căldură avînd ca agent secundar un gaz, datorită rezistenţei termice mari pe partea acestuia. La schimbătoarele lichid-lichid, influenţa depunerilor este

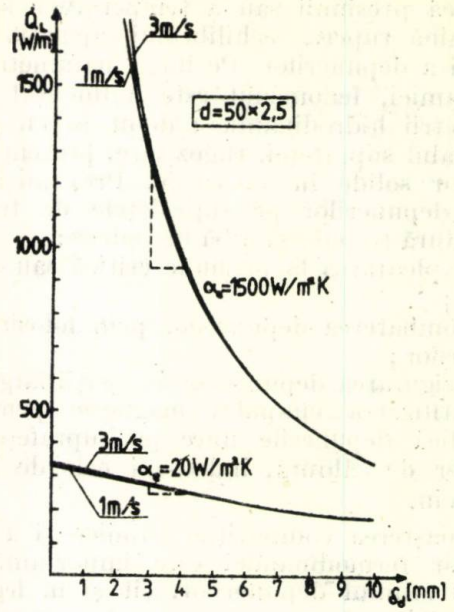


Fig. 1. Variaţia fluxului termic cu grosimea stratului de depuneri.

hotărîtoare. La o creştere a grosimii stratului cu numai 1 mm (de la 3 la 4 mm), fluxul termic scade cu 30%, iar uneori această îngroşare se poate realiza în cîteva ore.

3. Instalaţie experimentală pentru testarea la sursă a transferului de căldură şi a caracteristicilor apelor geotermale

Necesitatea testării, în faza anterioară proiectării unui sistem geotermal, a comportării apelor geotermale apare evidentă ca urmare a caracteristicilor extrem de variate şi a multitudinii de factori ce intervin în procesele de curgere şi de transfer de căldură. Testele privind compoziţia chimică, coroziunea, depunerea, pa-

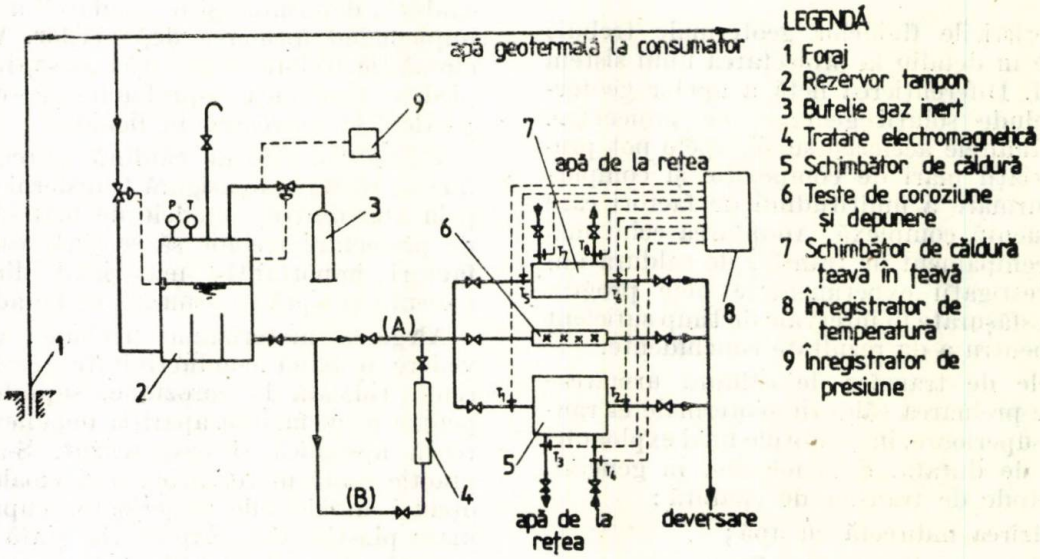
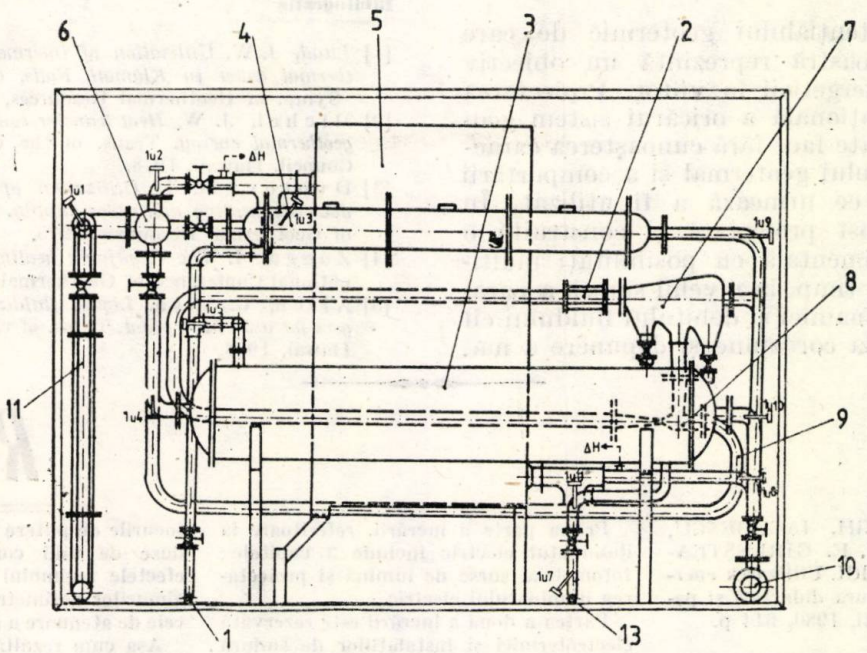


Fig. 2. Schema instalaţiei experimentale.

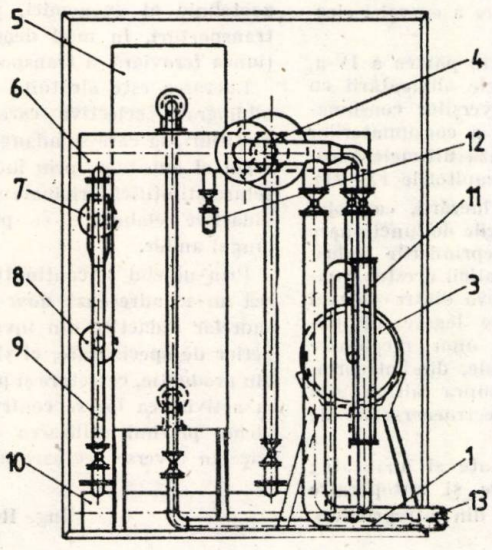
rametrii termodinamici, debit etc. trebuie să reprezinte prima etapă în dezvoltarea oricărei arii geotermale. Este oportun, de asemenea, să se testeze și echipamentul de transfer de căldură de tipul celui preconizat a fi introdus în exploatare.

Pentru a răspunde acestui deziderat, în laboratorul de termotehnică al Institutului de construcții București a fost proiectată și executată o instalație experimentală mobilă cu destinații multiple. Lucrarea a fost executată



a)

1 Racord ieșire apă rece
2 Vizor
3 Schimbător de căldură multitubular
4 Conductă de testare Φ108×4
5 Schimbător de căldură în plăci
6 Distribuitor Φ108×4
7 Decantor
8 Ejector
9 Instalație de fluidizare
10 Colector Φ108×4
11 Filtru electromagnetic
12 Șuț golire distribuitor
13 Racord apă geotermală



b)

în cadrul unui contract de cercetare științifică având ca beneficiar CPJ Bihor.

Schema de principiu a instalației este prezentată în figura 2. Instalația se racordează la sursa geotermală prin intermediul unui rezervor-tampon funcționînd sub presiune, capabil să preia depunerile minerale care survin. Este prevăzută testarea simultană a două tipuri de schimbătoare de căldură diferite, cît și a diferitelor materiale sau elemente de instalații, la coroziune și depunere. Testele se pot face în diferite condiții, cu tratare prealabilă — chimică sau electromagnetică — sau cu folosire directă de la sursă. Parametrii de funcționare se înregistrează pentru a se urmări variația lor în timp. Instalația propriu-zisă este reprezentată în figura 3, *a* și *b*.

Se prevede testarea unui schimbător de căldură multitubular, a unui schimbător de căldură cu plăci și a unei instalații de fluidizare lichid-solid. Comportarea la coroziune și depunere se urmărește într-o conductă de testare cu posibilități de vizitare și prelevare a probelor. Instalația poate fi racordată la orice sursă geotermală, iar elementele sale componente sînt demontabile, făcînd posibilă înlocuirea lor.

Fig. 3. Instalație experimentală de testare la sursă a echipamenetului de transfer de căldură.

Pentru efectuarea măsurătorilor şi prelucrarea rezultatelor a fost pus la punct un program care urmăreşte înregistrarea şi prelucrarea automată a datelor.

Concluzii

Utilizarea potenţialului geotermic de care dispune ţara noastră reprezintă un obiectiv important al energeticii în viitor. Proiectarea şi construcţia raţională a oricărui sistem geotermal nu se poate face fără cunoaşterea caracteristicilor izvorului geotermal şi a comportării echipamentului ce urmează a fi utilizat. În acest scop a fost proiectată şi construită o instalaţie experimentală cu posibilităţi multiple de testare în timp, la nivelul sursei, a parametrilor termodinamici şi debitului fluidului cît şi a rezistenţei la coroziune şi depunere a materialelor şi echipamentului de transfer de căldură. Datele obţinute sînt prelucrate automat, astfel încît să poată răspunde multitudinii de probleme legate de exploatarea energiei geotermale.

Bibliografie

[1] *Lund*, J. W. *Utilization of intermediate temperature geothermal water in Klamath Falls, Oregon.* The 2nd ONU Symp. of Geothermal Resources, 1975.

[2] Michel, J. W. *Heat transfer considerations in utilizing geothermal energy.* Trans. of the Geothermal Resources Council, Hawaii, 1978.

[3] Dvorov, M. I. *Utilization of geothermal water for domestic heating and water supply.* The 2nd ONU Symp. of Geothermal Resources, 1975.

[4] Zoega, I. *The Reykjavik heating system.* Proc. International Conference of Geothermal Energy, 1974.

[5] Allen, C. A. ş.a. *Liquid fluidized — bed heat exchangers for a 30 MW plant.* Trans. of Geoth. Resources Coun. Hawai, 1978.

Recenzii

TH. MICLESCU, GH. IACOBESCU, I. IORDĂNESCU, E. GÎRLEŞTEANU şi R. ŢENOVICI. **Utilizarea energiei electrice.** Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1980, 514 p.

În seria apariţiilor editoriale recente de cursuri universitare din domeniul electroenergeticii industriale, un loc important îl ocupă manualul cu titlul de mai sus elaborat de un colectiv de cadre didactice din cadrul facultăţii de energetică a Institutului politehnic Bucureşti. Lucrarea cuprinde prelegerile ţinute studenţilor de la Facultatea de energetică, care frecventează cursurile pentru ingineri, şi dezvoltă, potrivit programei analitice în vigoare a disciplinei „Utilizarea energiei electrice", următoarele domenii (denumite în lucrare părţi): iluminatul electric şi instalaţii electrice de iluminat, electrotermie şi sudura electrică, acţionări electrice şi alimentarea cu energie electrică a consumatorilor.

Cele patru părţi ale lucrării includ 21 de capitole, a căror succesiune este cea obişnuită şi acceptată de marea majoritate a autorilor, în sensul studiului mai întîi al receptoarelor electrice şi apoi al alimentării cu energie electrică a acestora.

Cartea abordează un domeniu larg în care se includ nu numai utilizările propriu-zise ale energiei electrice, dar şi probleme care, obişnuit, fac obiectul unor manuale de acţionări electrice şi, respectiv, alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale.

Luînd în considerare întinderea şi dinamica de dezvoltare a fiecărui domeniu în parte, în lucrare au fost tratate doar elementele fundamentale, care să dea viitorului specialist orientarea necesară pentru utilizarea cu eficienţă sporită a energiei electrice în instalaţiile industriale la nivelul cerinţelor actuale.

Prima parte a lucrării, referitoare la iluminatul electric include 3 capitole: fotometria, surse de lumină şi proiectarea iluminatului electric.

Partea a doua a lucrării este rezervată electrotermiei şi instalaţiilor de sudură electrică şi cuprinde, începînd cu capitolul 4 al cărţii, următoarele capitole: bazele electrotermiei, cuptoare electrice cu rezistenţă, cuptoare de inducţie, cuptoare electrice cu arc, sudarea metalelor, sudarea prin topire şi sudarea prin presiune.

Acţionărilor electrice le este rezervată partea a treia a manualului, care înglobează 6 capitole ce deţin cea mai mare pondere în spaţiul tipografic al lucrării.

Teoria expusă în această parte a cărţii este însoţită de 26 exemple de calcul, judicios alese, în legătură cu aspectele esenţiale ale formării viitorului specialist în probleme de utilizare a energiei electrice.

Ultima parte a cărţii, partea a IV-a, se ocupă de problemele alimentării cu energie electrică a diverşilor consumatori, în mod deosebit a consumatorilor industriali, şi înglobează ultimele 5 capitole din lucrare (capitolele 17—21).

Ultimul capitol al lucrării, capitolul 21, se referă la regimurile de funcţionare caracteristice în întreprinderile industriale. În cadrul tematicii acestui capitol sînt prezentate cîteva dintre cele mai semnificative probleme legate de implicaţiile funcţionării unor receptoare cu caracteristici speciale, din întreprinderile industriale, asupra altora sau asupra sistemului electroenergetic de alimentare.

Astfel, sînt prezentate şi analizate: problemele de pornire şi autopornire a motoarelor electrice din întreprinderi, şocurile de putere activă şi reactivă produse de unii consumatori industriali, efectele regimului deformant şi ale regimurilor nesimetrice, precum şi mijloacele de atenuare a acestora.

Aşa cum rezultă din prezentarea succintă a conţinutului lucrării la care ne referim, aceasta comasează un domeniu larg de cunoştinţe, cele patru părţi ale cărţii putînd forma independent alte patru lucrări.

Meritul autorilor constă, după opinia noastră, în reuşita corelării şi sudării celor patru părţi ale manualului ce înglobează cunoştinţe indispensabile unui viitor specialist cu studii superioare în domeniul energeticii. Subliniem totuşi faptul că n-ar fi fost lipsit de interes ca în conţinutul lucrării să se fi introdus şi cîteva elemente specifice privind utilizarea energiei electrice în sectorul agrozootehnic al economiei, precum şi în transporturi, în mod deosebit în tracţiunea feroviară şi transportul urban.

Lucrarea este alcătuită în baza unei bibliografii selective care include 62 de titluri, la care se adaugă aportul personal al autorilor, prin lucrările de cercetare ştiinţifică originale şi alte lucrări didactice elaborate şi publicate de-a lungul anilor.

Prin nivelul şi conţinutul său, lucrarea nu se adresează doar studenţilor şi cadrelor didactice din învăţămîntul superior de specialitate, ci şi specialiştilor din producţie, cercetare şi proiectare care în activitatea lor se confruntă cu probleme privind utilizarea energiei electrice în diverse sectoare ale economiei.

Ing. **Romulus Sfiebi**

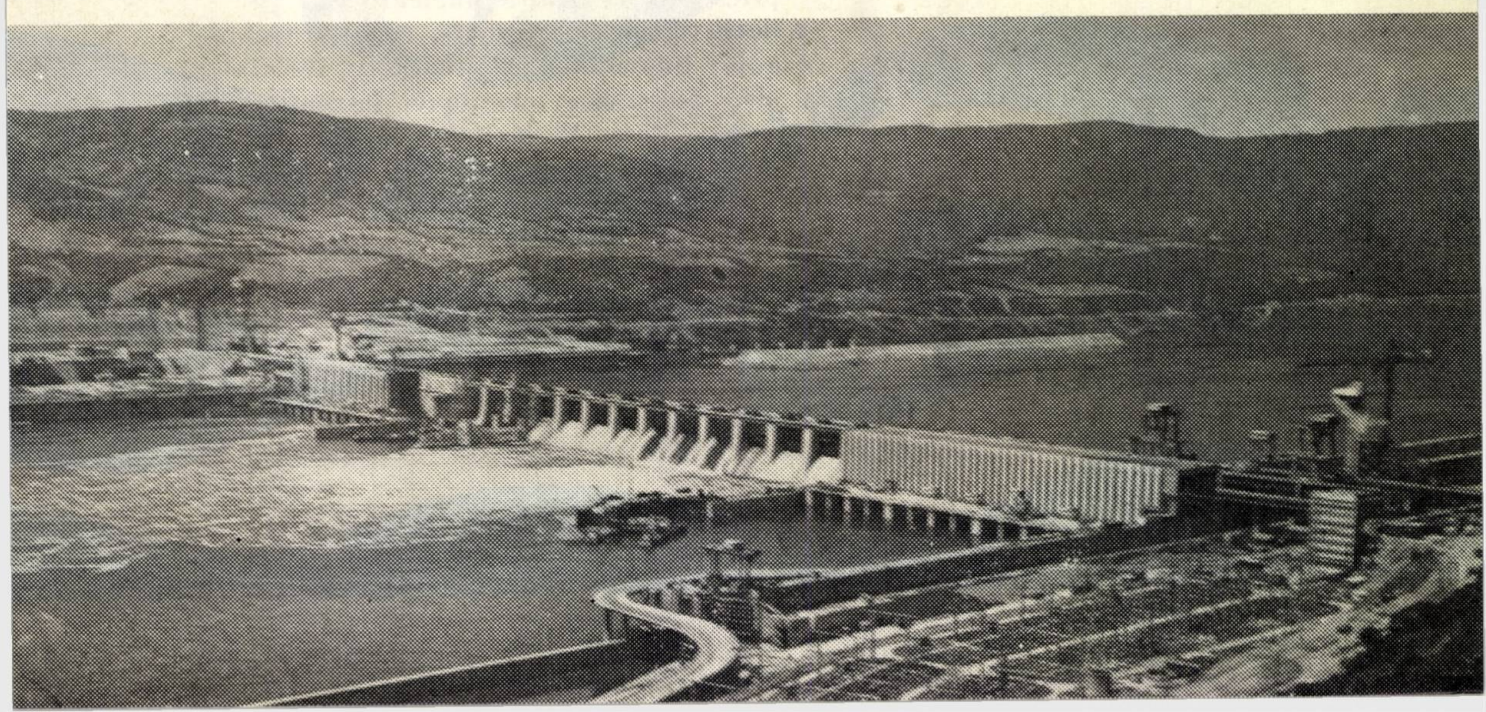
Trustul de Construcţii Hidroenergetice

BUCUREŞTI

Str. Dimitrie Onciul Nr. 23—25 Telefon : 35.54.70

Sector 2 Cod 70318 Telex : 10244R

execută în ţară şi în străinătate centrale hidroelectrice
şi lucrări hidrotehnice complexe



ROMENERGO

FOREIGN TRADE COMPANY

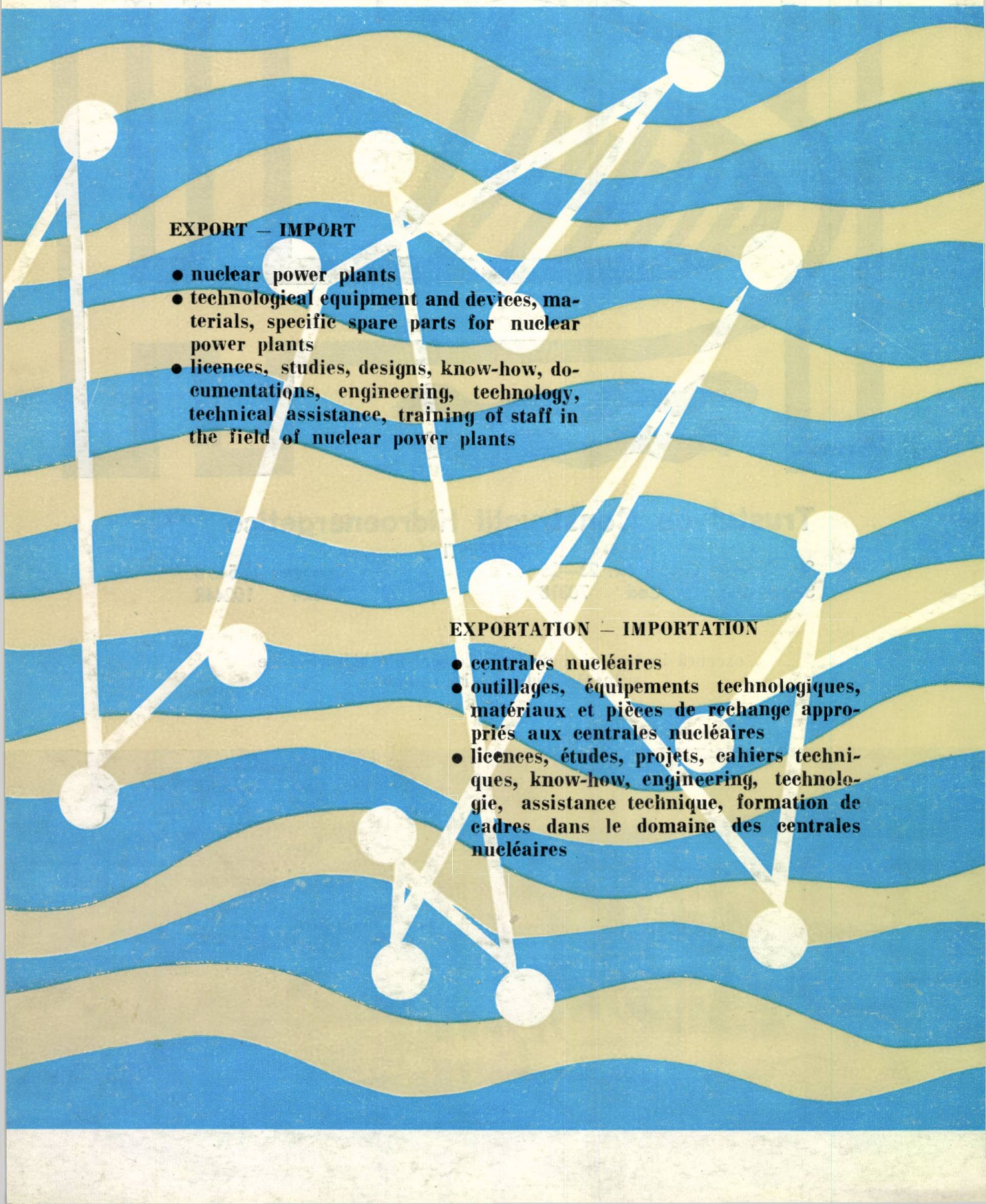
ROMÂNIA - BUCHAREST
Calea Victoriei 194 - Sector 1
CABLES:
ROMENERGO BUCURESTI
P.O. BOX: 22 - 153
TELEX: 011525 romeng r
POSTAL CODE: 71 101

RE

PHONE: 50 66 82

IMPORT-EXPORT IN THE NUCLEAR FIELD

1982 AUG 17



EXPORT – IMPORT

- **nuclear power plants**
- **technological equipment and devices, materials, specific spare parts for nuclear power plants**
- **licences, studies, designs, know-how, documentations, engineering, technology, technical assistance, training of staff in the field of nuclear power plants**

EXPORTATION – IMPORTATION

- **centrales nucléaires**
- **outillages, équipements technologiques, matériaux et pièces de rechange appropriés aux centrales nucléaires**
- **licences, études, projets, cahiers techniques, know-how, engineering, technologie, assistance technique, formation de cadres dans le domaine des centrales nucléaires**

E 2039

REFERÁLVA

MW

9

VOLUMUL XXIX
BUCUREŞTI
SEPTEMBRIE 1981

energetica

0 6 12 18 24

ICEMENERG

INSTITUTUL DE CERCETĂRI ȘI MODERNIZĂRI ENERGETICE

BUCUREȘTI, cod 74568, Sectorul III • B-dul ENERGETICIENILOR 8

ACTIVITATEA IN DOMENIUL AEROTERMODINAMICII TURNURILOR DE RACIRE

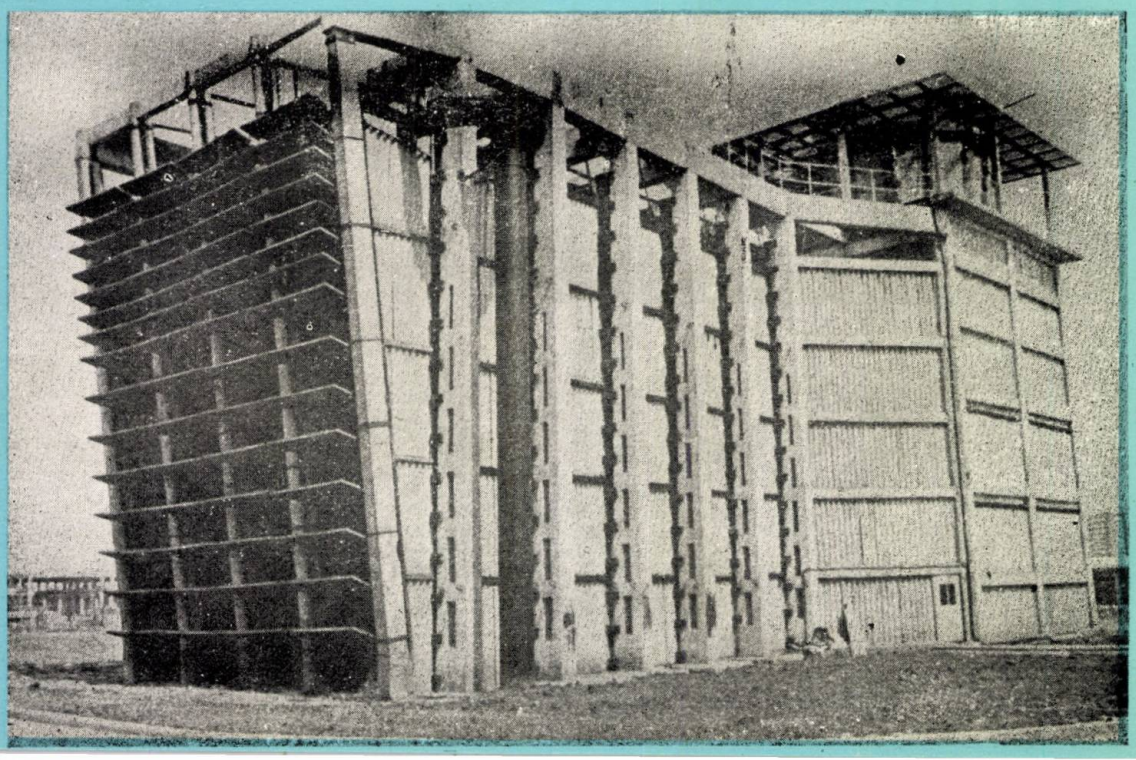
In cadrul ICEMENERG, laboratorul de circuite hidrotehnice efectuează cercetări în domeniul aerodinamicii turnurilor de răcire, iar în colaborare cu cadrele de specialitate ale institutelor politehnice din București și Timișoara realizează studii și cercetări privind termodinamica și aerodinamica turnurilor de răcire în contracurent și curent transversal, în principal a celor cu tiraj natural.

ICEMENERG, laboratorul de circuite hidrotehnice realizează :

- Cercetări de laborator pentru stabilirea cifrelor de transfer termic și rezistență aerodinamică ale diferitelor tipuri de umpluturi (plăci de azbociment, șipci, rulouri din plase de mase plastice etc.), finalizate prin stabilirea de relații matematice de generalizare ;
- Cercetări pentru diferite tipuri de sisteme de dispersie a apei și de reținători de stropi ;
- Cercetări aerodinamice pe modele de ansamblu ale turnurilor de răcire finalizate prin relații generale de calcul al rezistenței aerodinamice totale ;
- Studii pentru stabilirea metodelor de calcul termic caracterizate prin programe de dimensionare și verificare ;
- Măsurători de cercetare pe stația pilot pentru turnuri în contracurent și curent transversal și pe turnuri în funcțiune pentru verificarea datelor de laborator și a programelor de calcul și stabilirea eventualilor coeficienți de trecere laborator-natură aplicabili la calculele de dimensionare ;
- Cercetări necesare introducerii pe scară largă a umpluturilor din mase plastice mai eficiente atît din punctul de vedere al performanțelor cît și al energiei înglobate (comportarea mecanică sub sarcină, comportarea sub acțiunea impurităților mecanice și biologice conținute în apa de circulație, comportarea la foc etc.).

Pe baza cercetărilor realizate, aplicabile la orice tipuri și capacități ale turnurilor de răcire, au fost întocmite numeroase proiecte pentru turnuri de răcire din centrale termoelectrice, industria chimică și rafinării din țară și străinătate.

Activitatea de cercetare se extinde în domeniul turnurilor de răcire uscate, existînd deja studii tehnico-economice și rezultate experimentale preliminare.



ORSZÁGOS MŰSZAKI DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONTI KÖNYVTÁR 1885

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 29 Nr. 9 septembrie

Cuprinsul

		Pag.
P. Petrescu şi *T. Gherasim*	**Siderurgia mondială şi economisirea materiilor prime, a energiei şi combustibililor. Aspecte energosiderurgice româneşti**	361—372
V. Luca, Fl. Andreescu şi *A. Forje*	**Detensionarea mecanică a îmbinărilor sudate — procedeu eficient şi economic**	373—377
C. Dumitru	**Modele de calcul unidimensionale pentru temperaturile apei şi aerului la ieşirea din turnurile de răcire umede în contracurent**	377—380
M. Zabunov	**Filtrarea electromagnetică a apei de alimentare a cazanelor de abur**	381—384
A. A. Cocoş şi *S. Zamfir*	**Cercetări privind stabilirea valorilor-limită ale indicilor chimici în circuitele de răcire din centralele termoelectrice**	384—389
Alex. Tănăsescu şi *H. Mărieş*	**Scurtcircuite nesimetrice în reţele de medie tensiune cu neutrul legat la pământ prin rezistenţă**	389—395
D. Cernomazu şi *Gh. Michiu*	**Consideraţii privind verificarea grupei de conexiuni aferentă transformatoarelor electrice trifazate, prin metoda curentului continuu**	396—401

RECENZII

COLEGIUL DE REDACŢIE

dr. ing. **Gh. Bălan** (redactor responsabil adjunct), ing. **P. Cartianu,** ing. **M. M. Dăncilă,** ing. **H. Furtunescu,** ing. **N. Georgian,** dr. ing. Gh. Luca, dr. chim. **Maria Maftei,** ing. **B. Marcu,** dr. ing. **A. Măcriş,** ing. **I. Măiereanu** (redactor responsabil adjunct), dr. ing. **C. Mihăileanu** (redactor responsabil), prof. dr. doc. **V. I. Nitu,** dr. ing. **E. Pavel,** dr. ing. **Th. Popa,** dr. ing. **C. I. Staicu** (secretar de redacţie).

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 669.1 : 338.062.219.3

П. Петреску и *Т. Герасим*: **Мировая чёрная металлургия и экономия сырья, энергии и топлива. Аспекты румынской энергетики и чёрной металлургии**

Представляется обзор основных расходов энергии по типам металлов и техники.

Energetica 29 (1981), № 9, стр. 361—372

ДК 621.3.015.2 : 621.791.052

В. Лука, *Фл. Андрееску* и *А. Форже*: **Механическое снятие напряжений сварных соединений — эффективный и экономичный способ**

Рассматриваются изменения внутренних напряжений при помощи изучения вариаций модуля продольной упругости и внутреннего трения. Следует, что с технической точки зрения механические способы снятия напряжений являются эффективными, а с энергетической точки зрения примерно в 30 раз более экономичными.

Energetica 29 (1981), № 9, стр. 373—377

ДК 621.311.22/23 : : 621.565.93/94

К. Думитру: **Одноразмерные расчетные модели температур воды и воздуха на выходе из влажных противоточных градирен**

Рассмотрена возможность расчета температуры охлаждающей воды и воздуха на выходе из влажной противоточной градирни при известных тепловых и аэродинамических качественных показателях, тепловой нагрузки и параметрах окружающей среды. Работа включает и соображения, сявзанные с выбором параметров воздуха для этих градирен.

Energetica 29 (1981), № 9, стр. 377—380

ДК 621.181 : 621.187.15

М. Забунов: **Электромагнитная очистка питающей воды паровых котлов**

Изложены лабораторные и промышленные испытания фильтров, реализованных ICEMENERG; даны полученные результаты и преимущества данного способа.

Energetica 29 (1981), № 9, стр. 381—384

ДК 621.311.22/23 : 621.3.017.72

А. А. Кокош и *С. Замфир*: **Исследования по установлению предельных значений химических показателей контуров охлаждения ТЭС**

Описывается поведение латуни, используемой для труб конденсаторов и охладителей в испытательной установке по отношению к охлаждающей воде разного состава. Уточнены некоторые предельные значения основных химических параметров воды, для предотвращения коррозии и отложений. Показывается, что выводы работы были в последующем подтверждены в эксплуатации.

Energetica 29 (1981), № 9, стр. 384—389

ДК 621.316.1 : 621.3.064.1

Ал. Тэнэсеску и *Х. Мэриеш*: **Несимметричные короткие замыкания в сетях среднего напряжения с заземленной нейтралью через сопротивление**

Рассматриваются несимметричные короткие замыкания в сетях среднего напряжения с заземленной нейтралью через сопротивление, а также одновременное влияние на токи и напряжения в месте повреждения следующих параметров: реактивного сопротивления прямой последовательности, сопротивления и реактивного сопротивления гомополярной последовательности, сопротивления заземления нейтрали, переходного сопротивления в месте повреждения. Даются формулы для расчета токов короткого азмыкания и напряжений неповрежденных фаз и определяются отношения «коэффициента повреждения на землю» и «коэффициента тока на землю».

Energetica 29 (1981), № 9, стр. 389—395

ДК 621.314.12 : 621.3.024

Д. Черномазу и *Г. Микиу*: **Соображения по проверке группы соединений трехфазных электротрансформаторов на основе метода постоянного тока**

На основе результатов девяти измерений определен алгоритм идентификации группы соединений.

Energetica 29 (1981), № 9, стр. 396—401

INHALTSVERZEICHNIS

DK 669.1 : 338.062.219.3

P. Petrescu und *T. Gherasim*: **Das Eisenhüttenwesen und die Ersparnis von Rohstoffen, Energie und Brennstoffen. Der Energieverbrauch in der rumänischen Eisenhüttenindustrie**

Es werden die wichtigsten Energieverbrauche für die verschiedenen Metalltypen und-Verarbeitungsmethoden aufgezählt.

Energetica 29 (1981), H. 9, S. 361—372

DK 621.3.015.2 : 621.791.052

V. Luca, *Fl. Andreescu* und *A. Forje*: **Die mechanische Entspannung der Schweissnähte — ein wirkungsvoller und wirtschaftlicher Vorgang**

Es werden die Schwankungen der inneren Spannungen anhand der Studie der Schwankungen des längselastischen Moduls und des Moduls der inneren Reibungen analysiert. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass die mechanischen Entspannungsvorgänge vom technischen Standpunkt aus, wirkungsvoll und vom energetischen Standpunkt aus, 30 mal ökonomischer sind.

Energetica 29 (1981), H. 9, S. 373—377

DK 621.311.22/23 : 621.565.93/94

C. Dumitru : **Eindimensionale Berechnungsmodelle für die Wasser-und Lufttemperaturen beim Austritt aus den nassen Gegenstromkühltürmen**

Es wird die Möglichkeit angegeben, die Temperatur des gekühlten Wassers und der gekühlten Luft beim Austritt aus einem Gegenstromkühlturm zu berechnen, wenn die Wärmeleistung und die aerodynamische Leistung, sowie die Wärmebelastung und die Umweltluftkennwerte bekannt sind. Der Beitrag enthält auch Angaben über die Wahl der Luftkennwerte für diese Kühltürme.

Energetica 29 (1981), H. 9, S. 377–380

DK 621.181 : 621.187.15

M. Zabunov : **Das elektromagnetische Filtrieren des Kesselspeisewassers**

Es werden die Laborversuche und ihre Übertragung auf industriellem Masstab mit den im ICEMENERG gebauten Filtern, die Ergebnisse und ihre Vorteile gezeigt.

Energetica 29 (1981), H. 9, S. 381–384

DK 621.311.22/23 : 621.3.017.72

A. A. Cocoș und *S. Zamfir* : **Forschungen über die Festlegung der Grenzwerte der chemischen Kennzeichen in den Kühlkreisläufen der Wärmekraftwerken**

Es wird das Verhalten des Messings aus dem die Rohrleitungen in Kondensatoren und Kühlern einer Pilotanlage bestehen, unter der Einwirkung von Kühlwasser mit verschiedenen Zusammensetzungen beschrieben. Die zum Vermeiden der Korrosionen und Ablagerungen bestimmten Grenzwerte der wichtigsten chemischen Wasserparameter werden angegeben. Es wird die Bestätigung der Feststellungen im Betrieb demonstriert.

Energetica 29 (1981), H. 9, S. 384–389

DK 621.316.1 : 621.3.064.1

Al. Tănăsescu und *H. Măries* : **Unsymmetrische Kurzschlüsse in Mittelspannungsnetzem mit dem durch Widerstände geerdeten neutralen Leiter**

Die unsymmetrischen Kurzschlüsse in Mittelspannungsnetzen mit dem durch Widerstände geerdeten neutralen Leiter werden analysiert und ihre simultanen Auswirkungen auf den Strömen und Spannungen am Fehlerort der folgenden Kennwerte angegeben : die Direktfolgereaktanz, der Durchgangswiderstand und die Homopolarreaktanz, der Erdungswiderstand des neutralen Leiters, der Durchgangswiderstand am Fehlerort. Es werden Berechnungsformeln für die Kurzschlussströme und für die Spannungen auf den unsymmetrischen Phasen angegeben und Beziehungen für den „Erdungsfehlerfaktor" und den „Erdungsstromfaktor" bestimmt.

Energetica 29 (1981), H. 9, S. 389–395

DK 621.314.12 : 621.3.024

D. Cernomazu und *Gh. Michiu* : **Betrachtungen über die Prüfung der dreiphasigen Trafo-Verbindungsgruppen anhand der kontinuierlichen Strom-Methode**

Es wird eine Algorithmus festgelegt für die Festlegung der Verbindungsgruppen anhand der Ergebnisse von neun durchgeführten Messungen.

Energetica 28 (1981), H. 9, S. 396–401

SOMMAIRE

CD 669.1. : 338.062.219.3

P. Petrescu et *T. Gherasim* : **La sidérurgie mondiale et l'économie des matières premières, de l'énergie et des combustibles. Aspects énergo-sidérurgiques de l'industrie roumaine**

On passe en revue les principales consommations d'énergie, en corrélation avec les types de métaux et de techniques.

Energetica 29 (1981), no. 9, p. 361–372

CD 621.3.015.2 : 621.791.052

V. Luca, Fl. Andreescu et *A. Forje* : **La détente mécanique des joints soudés, procédé efficace et économique**

Les auteurs analysent les variations des contraintes internes par l'intermédiaire des variations du module d'élasticité longitudinal et de frottement interne. Il en résulte que les procédés mécaniques de détente sont efficaces du point de vue technique et, du point de vue énergétique, ils sont de 30 fois plus économiques.

Energetica 29 (1981), no. 9, p. 373–377

CD 621.311.22/23 : 621.565.93/94

C. Dumitru : **Modèles unidimensionnels pour calculer les températures de l'eau et de l'air à la sortie des tours de refroidissement humides en contrecourant**

On indique la possibilité de calculer la température de l'eau refroidie et de l'air à la sortie d'une tour humide en contre-courant, tout en connaissant la performance thermique et aérodynamique, la charge thermique et les paramètres de l'air environnant. L'article contient aussi des considérations sur le choix des paramètres de l'air pour ces tours

Energetica 29 (1981), no. 9, p. 377–380

CD 621.181 : 621.187.15

M. Zabunov : **La filtration électromagnétique de l'eau pour l'alimentation des chaudières à vapeur**

On présente les essais de laboratoire et industrielles avec des filtres réalisés par l'ICEMENERG, les résultats obtenus, ainsi que les avantages de ce procédé.

Energetica 29 (1981), no. 9, p. 381–384

CD 621.311.22/23 : 621.3.017.72

A. A. Cocoș et *S. Zamfir* : **Recherches sur la détermination des valeurs limites des indices chimiques des circuits de refroidissement dans les centrales thermoélectriques**

L'article décrit le comportement, dans un poste pilote, du cuivre qu'on utilise pour les conduits des condenseurs et des réfrigérants, envers les eaux de refroidissement à composition différente. On établit certaines valeurs limites des principaux paramètres chimiques de l'eau afin d'éviter les corrosions et les dépôts et on indique, également, les conclusions qui ont été ultérieurement confirmées, dans l'exploitation.

Energetica 29 (1981), no. 9, p. 384–389

CD 621.316.1 : 621.3.064.1

Al. Tănăsescu et *H. Măries* : **Court-circuits non-symmétriques dans les réseaux moyenne tension à neutre mis à la terre par résistance**

On analyse les court-circuits non-symmétriques dans les réseaux moyenne tension à neutre mis à la terre par résistance, ainsi que l'influence sur les courants et les tensions, exercée

au lieu du défaut par les paramètres suivants : la réactance de séquence directe, la résistance et la réactance de séquence homopolaire, la résistance de mise à la terre du neutre, la résistance de passage au lieu du défaut. Les auteurs donnent les formules de calcul pour les courants et les tensions sur les phases saines et établissent les relations pour „le facteur de défaut à la terre" et „le facteur de courant à la terre".

Energetica 29 (1981), no. 9, p. 389–395

CD 621.314.12 : 621.3.024

D. Cernomazu et *Gh. Michiu* : **Considérations sur la vérification du groupe de connexions afférentes aux transformateurs électriques triphasés, par la méthode du courant continu**

On présente l'algorithme à l'aide duquel on peut identifier le groupe de connexions par l'intermédiaire des résultats obtenus à la suite d'un nombre de neuf mesurages.

Energetica 29 (1981), no. 9, p. 396–401

CONTENTS

DC 669.1 : 338.062.219.3

P. Petrescu and *T. Gherasim* : **World metal processing, raw materials, energy and fuels saving. Energy aspects of romanian metal processing**

The main energy consumptions correlated for different metal types and procedures are presented.

Energetica 29 (1981), no. 9, p. 361–372

DC 621.3.015.2 : 621.791.052

V. Luca, Fl. Andreescu and *A. Forje* : **Mechanical stress removal of welded joints — an efficient and economic procedure**

The internal tensions variations by means of the longitudinal elasticity and internal friction modulus variations are analysed. It results that mechanical stress removal processes are technically efficient and they are 30 times more economic from an energetic point of view.

Energetica 29 (1981), nr. 9, p. 373–377

DC 621.311.22/23 : 621.565.93/94

C. Dumitru : **One-dimensional calculation models for water and air temperature at the counterflow wet cooling towers outlet**

The possibility to calculate the cooled water and air temperature at the outlet from a counterflow wet cooling tower is indicated when the thermal and aerodynamic efficiency, the thermal load and the ambient air parameters are known. The paper contains also some considerations about the choice of air parameters for such types of towers.

Energetica 29 (1981), nr. 9, p. 377–380

DC 621.181 : 621.187.15

M. Zabunov : **Electromagnetic filtering of steam boilers supply water**

The laboratory tests and industrial scale test results with filters manufactured at ICEMENERG are presented as well as the advantages reached by this method.

Energetica 29 (1981), nr. 9, p. 381–384

DC 621.311.22/23 : 621.3.017.72

A. A. Cocoș and *S. Zamfir* : **Researches regarding limit values establishing for chemical indeces in thermal power plants cooling circuits**

The behaviour of condensers and coolers brass pipes from a pilot station towards different composition of cooling waters is described. The limit values of the main chemical water parameters are presented which help avoiding corrosion and deposits. The confirmation in operation of the conclusions is drawn.

Energetica 29 (1981), nr. 9, p. 384–389

DC 621.316.1 : 621.3.064.1

Al. Tănăsescu and *H. Mărieș* : **Non-symmetrical shortcircuits in medium voltage networks with resistance earthed neutrals**

The non-symmetrical shortcircuits in medium voltage networks with resistance earthed neutral as well as the simultaneous influence on currents and voltages at the fault place of the following parameters is analysed : the direct sequence reactance, the homopolar sequence reactance and resistance, the neutral earthing resistance, the passing through resistance at the fault location. The calculation formulae for shortcircuit currents and healthy phases voltages are presented and the relations for the „earth fault factor" and „current earth factor" are established.

Energetica 29 (1981), nr. 9, p. 389–395

DC 621.314.12 : 621.3.024

D. Cernomazu and *Gh. Michiu* : **Considerations about the triphasic transformers groups checkings through the current method**

An algorithm for the identification of connections groups by means of the results obtained by nine measurements is introduced.

Energetica 29 (1981), nr. 9, p. 396–401

Siderurgia mondială și economisirea materiilor prime, energiei și a combustibililor. Aspecte energo-siderurgice românești

Ing. P. Petre[illegible]u
și ing. T. Gherasi[illegible]

1. Considerații generale

Rolul important pe care oțelul, respectiv minereurile de fier, continuă să-l joace în dezvoltarea civilizației moderne se datorește, în primul rînd, răspîndirii sale în scoarța pămîntului (circa 5,6%), posibilităților mai economice de fabricație față de alte metale (costul tablei de oțel fiind de 200—350 $/t față de cea de aluminiu, de 600—900 $/t **) și, respectiv, cupru, de 1500—2000 $/t), precum și proprietății sale de a fi adaptat într-o măsură foarte largă cerințelor specifice de utilizare, prin numeroase transformări în fază solidă și alierea cu alte elemente.

La sfîrșitul perioadei revoluției industriale și începutul revoluției tehnico-științifice contemporane, oțelul a devenit un factor de condiționare a progresului. Producția mondială de oțel (PMO), alături de cea de aluminiu și cupru — principalele metale neferoase industriale — este arătată în tabelul 1, din care se constată o relativă concordanță a ratelor medii de creștere.

lucrare secundară reprezintă 3—5% din produsul național brut (PNB) într-o țară industrială și poate ajunge pînă la 6—10% [1].

Dezvoltarea impetuoasă a siderurgiei a început în a doua jumătate a secolului al XIX-lea și s-a datorat, în mare parte, utilizării cocsului în locul cărbunelui de lemn, la furnale. Ca urmare, Marea Britanie, care la sfîrșitul secolului al XIX-lea era prima țară exportatoare de oțel, își pierde locul, în favoarea S.U.A., pînă în 1970, cînd U.R.S.S. devine cel mai mare producător de oțel din lume. Din 1940 Japonia prezintă cea mai impresionantă dinamică de dezvoltare metalurgică din lume. Este clar că o asemenea dezvoltare nu putea să aibă loc decît utilizîndu-se, la elaborarea fontei și oțelului, procese și tehnologii noi, modernizarea celor existente pe baze de economii de materii prime, energie și combustibili. Introducerea laminării continue, în anul 1920, în S.U.A., aplicarea procedeului cu convertizor cu oxigen în 1952 în Austria, elaborarea construcției furnalelor de volum mare în anul 1960 în Japonia și U.R.S.S. marchează toată dezvoltarea ulterioară a siderurgiei (tabelul 2).

După cel de-al doilea război mondial s-au făcut importante investiții în siderurgie, dintre care cele mai importante sînt: S.U.A. — 34,6 mlrd. dolari, Europa Occidentală — 29,7 mlrd. dolari, Japonia — 26,9 mlrd. dolari.

În țările socialiste, industria siderurgică este apreciată ca o industrie-cheie, motiv pentru care ea a fost modernizată, construindu-se noi uzine siderurgice pentru exploatarea zăcămin-

Tabelul 1

Producția mondială de oțel, aluminiu și cupru

Nr. crt.	Denumirea	Unitatea de măsură	1960	1965	1970	1975	1978
1	Producția mondială de oțel	mil. t	347,9	460	594	620	712,5
2	Rata medie anuală PMO	%	6,1	5,7	5,1	1,6	—
3	Producția mondială de cupru	mii t	4998	6059	7578	8852*)	—
4	Rata medie anuală cupru	%	4,5	3,9	4,6	4,0	—
5	Producția mondială de aluminiu	mii t	4543	6586	10257	13911*)	—
6	Rata medie anuală aluminiu	%	9,6	7,7	9,2	7,9	—

*) 1974

Locul producției mondiale de oțel în economie se evidențiază și prin faptul că valoarea producției de laminate și a produselor de pre-

telor proprii de minereu de fier, de cărbune cocsificabil și pe bază de minereu din import.

Atît în țările capitaliste cît și în țările socialiste, dezvoltarea siderurgiei în perioada de criză este considerată o întreprindere riscantă și de un grad de dificultate mare.

*) Ing. Paul Petrescu lucrează la Combinatul siderurgic Călărași; ing. Teodor Gherasim lucrează la Centrul de cercetări și proiectări pentru fabricația de țevi București.
**) la nivelul anului 1975.

Tabelul 2

Producţia de oţel în perioada 1870–1978

Anii	Marea Britanie		Statele Unite		U.R.S.S.		Japonia		Producţia mondială	
	mil. t	%	mil. t	%	mil. t	%	mil. t	%	mil. t	%
1870	3,7	37,4	1,6	16,2	0,3	2,7	—	—	9,8	100
1880	3,9	26,8	4,0	27,5	0,6	4,0	—	—	14,6	100
1890	6,2	26,0	7,7	32,4	0,8	3,4	—	—	23,7	100
1900	6,5	17,5	13,2	35,4	2,3	6,2	—	—	37,3	100
1910	7,9	12,0	28,8	43,6	3,1	4,7	—	—	66,1	100
1920	10,0	13,4	44,7	59,8	3,8	5,1	0,8	1,1	74,7	100
1930	7,4	7,8	41,3	43,5	7,9	8,3	2,3	2,4	95,1	100
1940	13,2	9,3	60,7	42,9	18,3	12,9	6,8	4,8	141,5	100
1950	16,6	8,6	90,4	47,1	27,3	14,2	4,8	2,5	191,8	100
1960	24,7	7 1	91,9	26,4	65,3	18,8	22,1	6,4	347,9	100
1970	28,3	4,9	122,1	21,1	115,9	20,0	93,3	16,1	578,6	100
1975	20,1	3,2	109,1	17,6	141,5	22,8	102,2	16,5	620,0	100
1978	20,2	2,8	123,8	17,4	152,0	21,3	102,1	14,3	712,5	100

Punctul de plecare pentru construirea siderurgiei naţionale îl constituie 300 dolari pe locuitor, iar la peste 2500 dolari pe locuitor creşterea acesteia este frînată, trecîndu-se la etapa dezvoltării calitative în care se fabrică mărci şi produse de oţel din ce în ce mai superioare, în condiţiile de economisire a materiilor prime, energiei şi combustibililor. Ipoteza acestei dezvoltări provine din analiza situaţiei oţelului din ţările Europei Occidentale şi din Statele Unite, care au avut de suferit mult din cauza crizei petrolului (tabelul 3).

Tabelul 3

Siderurgia în perioada 1975–2000*)

	1975	1978	1985	2000
Total mondial, mil. t	620,0	712,5	1070	1665–1925
Ţările CAER	191	212	275	385
U.R.S.S.	141,5	152	188	250
Ţările în curs de dezvoltare	63	76	170	395–655

*) ONUDI

2. Consumurile energetice şi purtătorii de energie

Analiza globală a consumului de energie în industria siderurgică şi a evoluţiei sale este dificilă, datorită atît structurii complexe şi diferenţiate a uzinelor siderurgice, cît şi varietăţii purtătorilor de energie. Cu toate acestea, tendinţele generale, precum şi direcţiile de acţiune pot fi decelate pe această cale.

Consumul global al unei uzine siderurgice integrate se situează în jurul a 6–7 Gcal/t [7], [8], [9]. Imaginea structurii sale rezultă din tabelul 4 şi figura 1, în care s-au adoptat consumuri minime la rapoarte normale fontă/oţel, fier vechi/oţel şi oţel convertizor/oţel electric, iar consumul de cocs a fost calculat cu 500 kg/t fontă, aşa cum se prezintă acestea într-o uzină siderurgică modernă, dotată cu furnale mari, convertizoare cu insuflare de oxigen şi turnare continuă. Repartiţia consumurilor permite unele concluzii generale, şi anume :

— cocseria, aglomerarea şi furnalele sînt consumatorul major, cu peste 72% din consumul total, aglomerarea şi furnalele apropiindu-se de 70%;

— combustibilul solid, cărbunii, respectiv cocsul reprezintă ponderea majoră, cu peste 60%;

— consumul de energie electrică, minimul necesar în această formă, este de circa 6%,

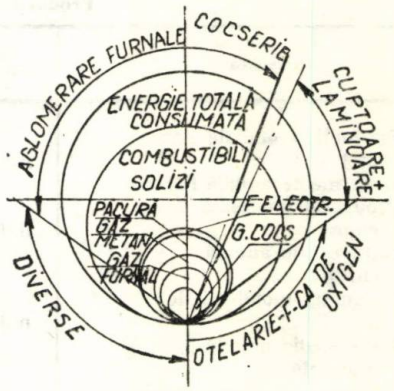


Fig. 1. Structura consumului de energie al unei uzine siderurgice integrate.

din care laminoarele reprezintă poziţia cea mai importantă cînd uzina nu este prioritar orientată către oţel electric. Transformînd în energie primară (păcură $\eta = 90\%$) şi energie electrică ($\eta = 35\%$), cota de combustibil primar corespunzător se ridică la aproape 16%;

Tabelul 4

Structura consumului de energie într-o uzină siderurgică modernă integrată

Energia / Sectorul	Combustibili solizi	Gaz metan	Păcură	Gaz de cocs	Gaz de furnal	Total combustibili	Energie electrică	Total	%
Cocserie	—	—	—	0,20	—	0,20	0,007	0,207	3,1
Aglomerare + furnale	4,10	0,04	0,48	—	0,39	5,01	0,1	5,11	75,5
Oţelării + fabrici de oxigen	—	0 10	—	—	—	0,10	0,0	0,19	2,8
Cuptoare + laminoare	—	0,50	0,40	—	—	0,90	0,15	1,05	15,5
Diverse	0,01	0,05	0,07	—	—	0,13	0,08	0,210	3,1
TOTAL	4,11	0,69	0,95	0,20	0,39	6,34	0,427	6,767	100
%	60,70	10,21	14,00	3,00	5,80	93,70	6,30	100	—
Energie primară	4,11	0,69	1,05	0,20	0,39	6,44	1,22	7,66	—
%	53,70	9,00	13,70	2,60	5,10	84,10	15,90	100	—

Recuperări		
Gaz de cocs	0,54	7,66
Gaz de furnal	1,05	−1,72
Gaz convertizor	0,13	5,94
Total	1,72	

— energia recuperată este de acelaşi ordin de mărime cu cea consumată prin gaz metan şi păcură, dacă nu se iau în considerare valorile de utilizare;

— consumul real al uzinelor integrate este de regulă mai mare, deoarece cuprinde şi unele activităţi neluate în considerare, ca producţia de feroaliaje, atelierele de turnătorii etc., dar se precizează că în Anglia consumul mediu de energie este de circa 6,7 Gcal/t, iar în Japonia „Nippon Steel" prezintă aceleaşi date;

— nu se întrevăd modificări majore cu privire la structură pînă la sfîrşitul secolului. Odată cu reducerea relativă a preţului energiei electrice şi cu posibilitatea gazeificării cărbunilor, datorită centralelor nucleare, va fi posibilă o reducere sau chiar o renunţare totală la combustibili scumpi şi deficitari, ca păcura şi gazul metan.

Cota combustibililor solizi va putea astfel să crească, obţinîndu-se de altfel şi o reducere a necesarului de cărbuni cocsificabili, prin înlocuirea lor parţială cu cărbuni gazeificaţi, sau într-o primă etapă cu cocs-brichete obţinute din cărbuni neaglutinanţi.

Datorită randamentului global satisfăcător, de 50—55% (energie teoretic necesară pentru desfăşurarea proceselor tehnologice, raportată la total energie consumată), nu se întrevăd ca tehnici posibile măsuri de mărire a randamentelor şi de raţionalizare a consumurilor pentru a se obţine o reducere globală cu mai mult de 10%. Asemenea măsuri, sub limitele economice actuale, devin însă posibile datorită tendinţei continue de creştere a preţului energiei.

O economie importantă care determină unele direcţii de cercetare o reprezintă căldura sensibilă a cocsului, zgurilor şi gazelor de joasă temperatură.

3. Procese tehnologice, tipuri de uzine şi direcţii de cercetare

Economia datorată capacităţilor unitare şi totale este determinantă în siderurgie şi conduce la construcţia uzinelor de 5—20 mil. t oţel/an, care vor sta la baza dezvoltărilor preconizate în paginile precedente. Miniuzinele, cu o capacitate de 0,5—1 mil. t oţel/an, se impun în zonele apropiate de o saturaţie industrială şi ecologică sau în zonele unde, pentru moment, nu sînt încă asigurate posibilităţile de desfacere, unităţile şi mijloacele financiare pentru maxiuzine.

Dispariţia procedeului Martin, datorită costurilor ridicate de investiţii şi exploatare faţă de convertizoarele cu oxigen, va fi accelerată de evoluţia cuptoarelor electrice prin creşterea capacităţii preconizate pînă la 500 t, reducerea duratei şarjei (la ~2,5 ore) şi de posibilităţile de furnizare a energiei prin centrale nucleare. Se va putea astfel prelua retopirea fierului vechi devenit disponibil.

Evoluţia procedeelor de elaborare a oţelului de masă este arătată în figurile 2 şi 3 [9].

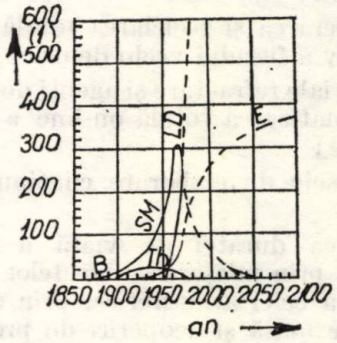


Fig. 2. Curbele de variaţie ale viabilităţii tehnologiilor de elaborare a oţelului:
(1) — producţia de oţel, milioane tone; ——— efectivă; – – – probabilă; *E* — oţel electric; *LD* — cu insuflare de oxigen în convertizor; *SM* — Siemens Martin; *B* — Bessemer; *Th* — Thomas.

Din cele expuse, pînă în prezent şi neprevăzînd pînă la sfîrşitul secolului realizarea industrială a unor mutaţii tehnologice în producţia de oţel de masă, rezultă şi principalele direcţii

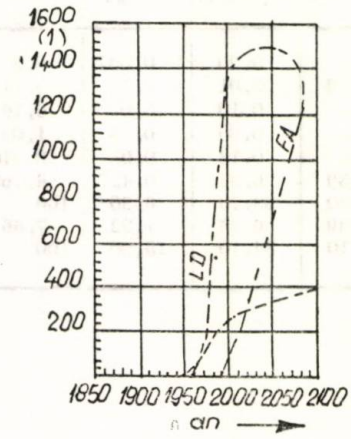


Fig. 3. Curbele de variaţie a viabilităţii procedeelor de elaborare a oţelului dominante în a doua jumătate a sec. XX şi probabil dominante în viitor:
(1) — producţie de oţel, mil. t; — tehnologiile de elaborare a oţelului; - - - efectivă; — · — · probabilă; *E* — oţel electric; *LD* — cu insuflare de oxigen în convertizor; *FA* — elaborare continuă, automatizată.

de cercetare, care sînt extrem de numeroase, fac apel la toate disciplinele ştiinţifice şi necesită un efort financiar şi tehnic ce se poate rezolva în modul cel mai satisfăcător prin colaborare internaţională.

Nu este locul să încercăm o enumerare şi ierarhizare a acestor direcţii, ceea ce ar fi practic imposibil, procesele fiind complexe şi dinamice, dar putem aminti cîteva pentru a sublinia diversitatea şi amploarea problemelor mai mult sau mai puţin actuale, ca:

— utilizarea energiei termice reziduale a reactoarelor nucleare, în special pentru gazeificarea cărbunilor;

— utilizarea energiei electrice nucleare la producerea de hidrogen prin electroliza apei sau direct în furnal;

— recuperarea căldurii din gaze de joasă temperatură;

— recuperarea şi reciclarea totală a deşeurilor, inclusiv a fierului vechi de orice calitate;

— materiale refractare şi agenţi de răcire;

— automatizarea totală on-line a proceselor tehnologice;

— procesele de elaborare continuă a oţelurilor;

— mărirea duratei de viaţă a produselor siderurgice prin micşorarea efectelor coroziunii, în special a celei atmosferice, prin aliaje anticorosive de masă şi acoperiri de protecţie;

— îmbunătăţirea proprietăţilor mecanice ale oţelurilor şi reducerea gradului de aliere, precum şi dimensionarea utilizării lor la limita maximă a acestor proprietăţi;

— procese tehnologice cu utilizarea energiei sub orice formă disponibilă şi în condiţii cît mai apropiate de cele teoretice;

— transportul şi ridicarea continuă a metalelor lichide.

4. Aspecte tehnice şi economice ale unei politici energetice privind elaborarea fontei în furnal

1. Este cunoscut că:

— industria siderurgică, cu un consum de 5—7 Gcal/t oţel, reprezintă circa 6—20% din consumul de energie al unei ţări industriale dezvoltate;

— furnalul reprezintă poziţia cu consumul cel mai ridicat din ansamblul uzinei siderurgice depăşind 50% din consumul total de energie;

— purtătorii principali de energie în furnal sînt cocsul, păcura şi gazul metan, combustibili deficitari şi scumpi, prezentînd o marcantă tendinţă de creştere a preţurilor;

— furnalul va rămîne încă mult timp principalul producător de fontă şi nu se întrevede încă frînarea dezvoltării sale pînă la începutul sec. XXI, cînd probabil elaborarea continuă a oţelului şi reducerea directă se vor bucura de o evoluţie mai susţinută, alături de electrometalurgie în general.

Politica energetică a furnalului vizează două căi:

— reducerea consumului specific de energie;

— substituirea combustibililor scumpi şi deficitari cu alţii, disponibili la un preţ mai redus.

Reducerea consumului specific de energie nu oferă mari posibilităţi deoarece elaborarea fontei în furnal cu circa 3,2 Gcal/t (în condiţiile unei încărcături de calitate) se apropie de limita sa teoretică.

În cele ce urmează se vor arăta unele aspecte tehnice şi în special economice ale unor tehnologii de substituire parţială a cocsului, gazului metan şi păcurii, la elaborarea fontei în furnal, analizîndu-se:

— înlocuirea cocsului cu păcură injectată la gurile de vînt;

— înlocuirea cocsului cu cărbuni injectaţi la gurile de vînt;

— înlocuirea cocsului cu cărbuni injectaţi la gurile de vînt şi gaze reducătoare insuflate la baza cuvei;

— înlocuirea cocsului cu hidrogen insuflat la gurile de vînt şi la baza cuvei, produs cu ajutorul energiei nucleare.

În toate variantele analizate s-a plecat de la un mers de referinţă cu un consum de cocs de 600 kg/t fontă fără adaosuri, iar parametrii tehnologici au fost luaţi ca medii din literatura de specialitate.

S-au întocmit nomograme ale costului combustibililor pe tona de fontă în funcţie de variaţia preţurilor la diferitele forme de combustibili de substituţie, căutîndu-se un sistem

simplu de comparație a diferitelor tehnologii cunoscute (fig. 4—8).

Fără a defini orizontul pentru care s-au admis evoluțiile de preț, nomogramele permit determinarea unor cazuri-limită ca maxim preț cocs combinat cu maxim preț păcură (max.-max.) sau minim preț cocs cu maxim preț păcură (min-max.) sau a oricărui alt caz intermediar.

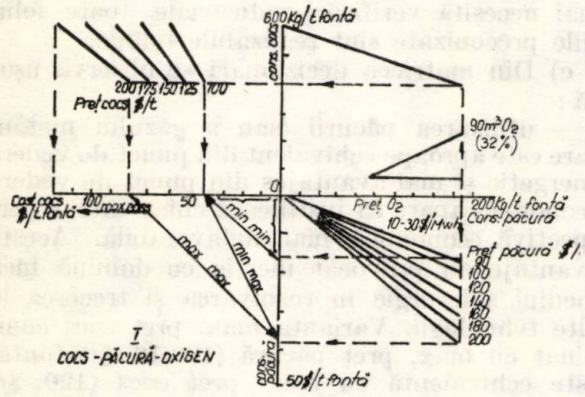


Fig. 4.

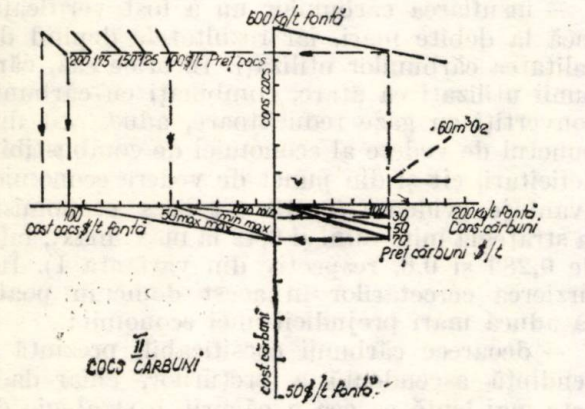


Fig. 5.

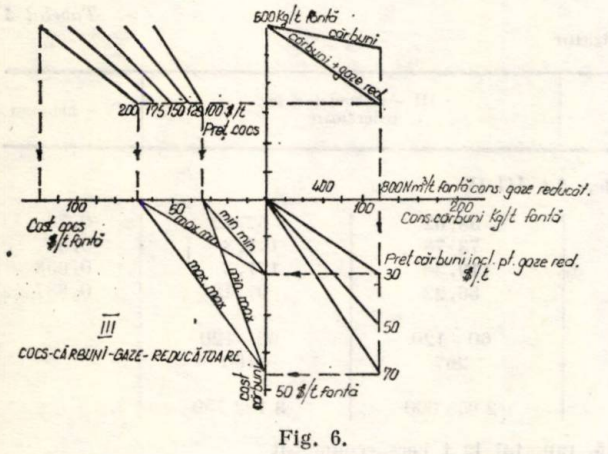


Fig. 6.

2. Consumul de păcură injectată la gurile de vînt s-a luat de la 0 la 190 kg/t, cu insuflarea oxigenului începînd de la 90 kg/t, crescînd progresiv pînă la 32% în aerul insuflat. Coeficientul mediu de înlocuire s-a luat 1,1 kg cocs/kg păcură. Deoarece conjunctura și tendința actuală prezintă o creștere mai rapidă a prețului păcurii decît al cocsului, variația prețului cocsului s-a luat de la 100 la 200 $/t, iar a păcurii de la 90 la 200 $/t. Prețul energiei electrice pentru producerea oxigenului s-a luat, de asemenea, variabil, în funcție de evoluția prețurilor cărbunilor necocsificabili, care este mai lentă (10—30 $/MWh la 0,8 kWh/Nm³ O_2). Influența prețului oxigenului este redusă.

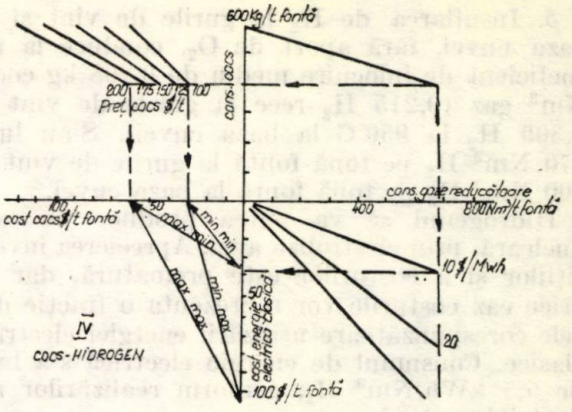


Fig. 7.

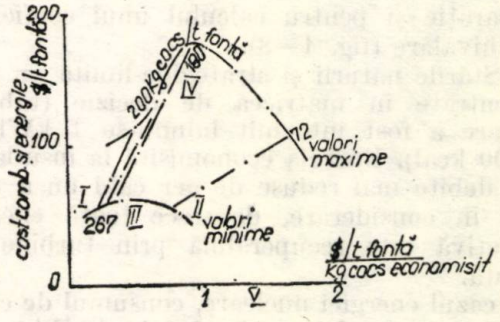


Fig. 8. Costul economiei de cocs
I — păcură + oxigen; *II* — cărbuni; *III* — cărbuni + gaze reducătoare; *IV* — hidrogen.

3. Consumul de cărbune insuflat la gurile de vînt s-a luat de la 0 la 120 kg/t. Coeficientul mediu de înlocuire: 0,6 kg cocs/kg pentru cărbuni cu circa 6000 kcal/kg. Deoarece experimentările actuale nu au depășit acest debit de cărbuni, nomograma nu extrapolează această valoare și nu introduce în consecință nici oxigenul suplimentar necesar. Prețul cărbunilor s-a luat între 30 și 70 $/t.

4. Consumul de cărbune s-a luat între 0 și 120 kg/t, la care se adaugă 750 Nm^3/t fontă gaze reducătoare insuflate la baza cuvei. Gazele reducătoare (CO + H_2 circa 90%) permit un coeficient mediu de înlocuire de 0,26 kg cocs/Nm^3 gaz la un grad de oxidare de 0,03. În cazul producerii acestui gaz din cărbuni energetici (circa 4500 kcal/kg) se produce circa 1,5 Nm^3 gaz/kg cărbuni, valoare care a fost introdusă în nomogramă.

5. Insuflarea de H_2 la gurile de vînt şi la baza cuvei, fără aport de O_2, conduce la un coeficient de înlocuire mediu de 0,268 kg cocs/Nm^3 gaz (0,215 H_2 rece la gurile de vînt şi 0,309 H_2 la 950°C la baza cuvei). S-au luat 170 Nm^3 H_2 pe tonă fontă la gurile de vînt şi 500 Nm^3 H_2 pe tonă fontă la baza cuvei.

Hidrogenul se va putea produce pe cale nucleară, prin electroliza apei. Aprecierea investiţiilor şi a costurilor este prematură, dar în orice caz costurile vor reprezenta o fracţie din cele corespunzătoare utilizării energiei electrice clasice. Consumul de energie electrică s-a luat de 5,5 kWh/Nm^3 H_2, conform realizărilor industriale actuale.

În nomograme, preţul energiei electrice a fost luat identic cu cazurile precedente, pentru comparaţie şi pentru calculul unui coeficient de echivalare (fig. 4—8).

6. Stările naturii şi strategiile-limită au fost concentrate în matricea de decizie (tabelul 5, care a fost întocmit luîndu-se 1 kWh = =2400 kcal). Energia economisită la insuflarea unor debite mai reduse de aer cald nu a fost luată în considerare, deoarece toată energia respectivă este recuperabilă prin turbine de detentă.

În cazul energiei nucleare, consumul de calorii a fost luat cel teoretic (860 kcal/kWh).

Variantele min.-max. sînt contradictorii în sine la cocs şi cărbuni, deoarece cocsul nu poate să fie minim şi cărbunele maxim, decît cel mult în cazul unor comparaţii între acorduri de lungă durată şi livrări spot.

Examinînd nomogramele şi tabelul centralizator (tabelul 5), se constată următoarele:

a) Se oferă o metodă grafică ce poate contribui uşor la analizarea implicaţiilor rezultate din variaţiile rapide şi divergente ale preţurilor diferitelor forme de energie utilizate la elaborarea fontei în furnale. Nomogramele pot fi utilizate pentru orice tip de cărbuni sau gaze reducătoare, dar pleacă de la o bază de referinţă, în cazul de faţă un consum de cocs de 600 kg/t fontă, fără utilizarea de combustibili suplimentari.

b) Nomogramele reflectă stadiul actual al cunoştinţelor cu privire la utilizarea diferiţilor înlocuitori de cocs. Chiar dacă unele dintre ele mai necesită verificări industriale, toate soluţiile preconizate sînt realizabile tehnic.

c) Din matricea decizională se observă uşor că:

— utilizarea păcurii (sau a gazului metan, care este aproape echivalent din punct de vedere energetic şi mai avantajos din punct de vedere economic) apare ca justificată chiar într-o perspectivă economică mai defavorabilă. Aceste avantaje au provocat inerţia ce domină încă mediul siderurgic în rezolvarea şi trecerea la alte tehnologii. Varianta max. preţ cocs combinat cu max. preţ păcură (120,16 $/t fontă) este echivalentă cu max. preţ cocs (120 $/t fontă), ceea ce este valabil şi pentru min.-min. (57,80, respectiv 60 $/t fontă) în evoluţia asumată a preţurilor;

— insuflarea cărbunilor nu a fost verificată încă la debite mari, iar rezultatele depind de calitatea cărbunilor utilizaţi. În orice caz, cărbunii utilizaţi ca atare, combinaţi cu cărbunii convertiţi cu gaze reducătoare, aduc, atît din punctul de vedere al economiei de combustibili deficitari, cît şi din punct de vedere economic, avantaje evidente (0,219 $/t cocs economisit la strategia min.-min. şi 0,42 la max.-max., faţă de 0,289 şi 0,6, respectiv din varianta I). Întîrzierea cercetărilor în acest domeniu poate să aducă mari prejudicii unei economii;

— deoarece cărbunii cocsificabili prezintă o tendinţă ascendentă a preţurilor, chiar dacă este mai lentă ca cea a păcurii, o strategie de remarcat este şi max. preţ cocs combinat cu

Tabelul 5

Tabel centralizator

Variante/strategii	I — păcură + oxigen	II — cărbuni	III — cărbuni + gaze reducătoare		IV — hidrogen
	Cost combustibili şi energie, $/t III/IV				
min.—min	57,80	56,40	58,62	67,12	0,78
min.—max.	80,16	61 20	78 78	141,3	0,56
max. — max.	120,16	114,00	112,38	171,3	0,658
max. — min.	97,1	109,2	86,22	97,12	0,887
min. şi max. cocs exclusiv	60—120	60—120	60—120	60—120	
Reducere cost, kg/t fontă	200	72	267	180	
Consum energie primară, kcal/t	2 073 000	720 000	2 955 000	3 192 750	
	Cost combustibili şi energie, $/t fontă, raportat la t cocs economisit				
min. — min.	0,289	0,783	0,219	0,512	0,533
min. — max.	0,4	0,35	0,295	0,785	0,375
max. — max.	0,6	1,53	0,42	0,951	0,441
max. — min.	0,435	1,52	0,323	0,540	0,593

min. preţ cărbuni (max.-min.) din varianta III (cărbuni + gaze reducătoare), care este suficient de aproape de min.-min. sau de min.-max. din varianta I (păcură + oxigen), respectiv 0,323 $/t cocs economisit faţă de 0,289, respectiv 0,4;

— menţinerea preţului cocsului la un minim rămîne una dintre sarcinile de bază ale siderurgiei, deoarece în orice variantă strategia min.-min. faţă de cea min.-max. reprezintă circa 66%. Acest lucru nu este posibil decît prin înlocuirea cocsului fabricat din cărbuni cocsificabili cu cocs fabricat, în diverse variante, cu sau fără brichetare, din cărbuni necocsificabili, pentru a elibera siderurgia atît de coşmarul epuizării rezervelor de cărbuni cocsificabili, gaz metan şi păcură, de permanenta ameninţare a escaladării preţurilor, cît şi de utilizarea discriminatoare a rezervelor naturale;

— ca o concluzie generală, exceptînd siderurgia nucleară, se poate spune că întîrzierea cercetărilor în vederea extinderii utilizării cărbunilor necocsificabili sub toate formele în furnal nu a fost justificată pe plan mondial decît printr-o slabă capacitate de analiză a perspectivei şi o prea comodă exploatare cu ajutorul gazului metan şi al păcurii.

Utilizarea hidrogenului produs prin energie nucleară reprezintă o soluţie de economisire sau de înlocuire a resurselor de combustibili clasici. Soluţia apare ca economică şi justifică cercetările în această direcţie, deoarece preţul energiei electrice produse pe această cale va putea scădea la nivelul coeficienţilor de echivalare stabiliţi pentru a realiza o eficienţă echivalentă cel puţin cu cea a insuflării gazelor reducătoare din cărbuni. Scăderea de preţ faţă de datele calculate va trebui să fie de circa 60%, ceea ce nu este realizat încă în prezent.

OBSERVAŢIE: Deoarece s-a oferit în primul rînd o metodă de lucru din care s-au extras concluziile generale, calculele şi nomogramele se referă numai la consumurile globale de energie şi la evoluţia preţurilor respective.

Nu s-a plecat de la un mers de referinţă anume şi nu s-au calculat cheltuielile de exploatare şi creşterile de productivitate în diferite variante. Nomogramele se pot întocmi şi în acest caz, costurile putînd fi multiplicate cu un coeficient K_t, care să reprezinte volumul cheltuielilor în funcţie de consumul specific de combustibil (ceea ce înseamnă, de fapt, translatarea pe o altă dreaptă de preţ).

Aproximaţia rezultată din adoptarea unor variaţii liniare este neglijabilă. Detalierea rămîne deci la nivelul institutelor de cercetare şi proiectare, care trebuie să determine o perspectivă şi o strategie energetică pentru unul dintre sectoarele cele mai importante din ţară din punctul de vedere al consumului energetic.

5. Aspecte energetice ale insuflării aerului la furnale

În continuare se prezintă unele aspecte energetice ale insuflării aerului la furnale. Valorile de referinţă s-au luat corespunzătoare unui furnal de 2700 m³, dar valorile specifice nu diferă mult în zona furnalelor de volum mare.

Se examinează:

— antrenarea suflantei cu turbină cu abur de 35 ata;

— antrenarea suflantei cu turbină cu abur de 90 ata;

— antrenarea suflantei cu electromotor;

— influenţa adaosului de oxigen în aerul insuflat.

Rezultatele calculelor sînt centralizate în tabelul 6 pentru consumul de energie la suflante, iar efectele adaosului de oxigen sînt centralizate în tabelul 7, unde s-a luat în considerare 32% oxigen în aerul insuflat concomitent cu adaos de păcură, la un consum specific de cocs de referinţă de 400 kg, cu 90 kg păcură pe tona de fontă.

În consumul de energie total s-a inclus şi cel pentru producerea oxigenului, care s-a luat global cu 0,6 kWh/Nm³ oxigen şi cu 2450 kcal/kWh, rezultînd la 90 m³ oxigen pe tona de fontă un consum de 132 300 kcal/t fontă.

Analiza surselor de energie pentru producerea oxigenului nu s-a luat în considerare în această etapă.

Tabelul 6

Consumul de energie la insuflarea aerului

	U.M.	Servicii interne	Antrenare turbină	Total energie consumată, kcal/1000 Nm³
Turbină cu abur 35 ata	kWh/1000 Nm³	6,1	75,8	—
	tc.c./U.M.	0,35	0,51	
	kcal/1000 Nm³	14 945	270 606	285 551
Turbină cu abur 90 ata	kWh/1000 Nm³	6,1	75,8	
	tc.c./U.M.	0,35	0,42	
	kcal/1000 Nm³	14 945	222 852	237 797
Electromotor	kWh/1000 Nm³	—	76	
	tc.c./U.M.	—	0,35	
	kcal/1000 Nm³	—	186 200	186 200

Tabelul 7

Efectele adaosului de oxigen

	Consum energie, kcal/ 1000 Nm^3	Debit aer, Nm^3/t fontă cu		Consum de energie total, kcal/t fontă cu	
		0% O_2	32% O_2	0% O_2	32% O_2
I	285 551	1140	825	325 528	367 980
II	237 797	1140	825	271 089	318 483
III	186 200	1140	825	212 268	285 915

Aspectele energetice se întregesc cînd se iau în considerare şi consumurile energetice pentru preîncălzirea aerului şi, deoarece aceasta se realizează pe seama gazului de furnal recuperat, trebuie să se ţină seama şi de diferenţele ce rezultă din debitul şi puterea calorică a gazului de furnal.

Preîncălzirea aerului s-a calculat cu 445 kcal/Nm^3. Rezultatele calculului sînt redate în tabelul 8.

Concluziile principale care rezultă sînt următoarele :

— Din punct de vedere exclusiv energetic, antrenarea suflantelor cu electromotor este cea mai indicată, energia consumată la suflante, inclusiv cea pentru producerea oxigenului, fiind de 77 % faţă de turbinele de 30 ata şi de 87 % faţă de turbinele de 90 ata.

— Acţionarea cu electromotor şi insuflare de oxigen reprezintă 88 % din insuflarea fără oxigen la 30 ata şi 1,05 % la 90 ata.

— Consumul energetic total pentru insuflarea aerului, producerea oxigenului, preîncălzirea aerului şi recuperarea gazului de furnal demonstrează că utilizarea oxigenului este avantajoasă, deoarece energia totală consumată, la un conţinut de O_2 de 32 % în aerul insuflat,

Tabelul 8

Consumul total de energie la insuflarea aerului în furnale

Conţinut O_2	21% O_2	32% O_2
Energia de insuflare, kcal/t fontă	I — 325 528 II — 271 089 III — 212 268	367 880 328 483 285 915
Energia de preîncălzire, kcal/t fontă	507 300	367 125
Energia recuperată în gazul de furnal, kcal/t fontă	(1650 Nm^3 × 815 kcal/Nm^3) 1 344 750	(1370 Nm^3 × 1116 kcal/Nm^3) 1 528 920
Diferenţa de energie recuperată, kcal/t fontă	0	+ 184 170
Energia totală consumată (1 + 2 — — 4), kcal/t fontă	I — 832 838 II — 778 389 III — 719 568	550 830 511 438 468 870

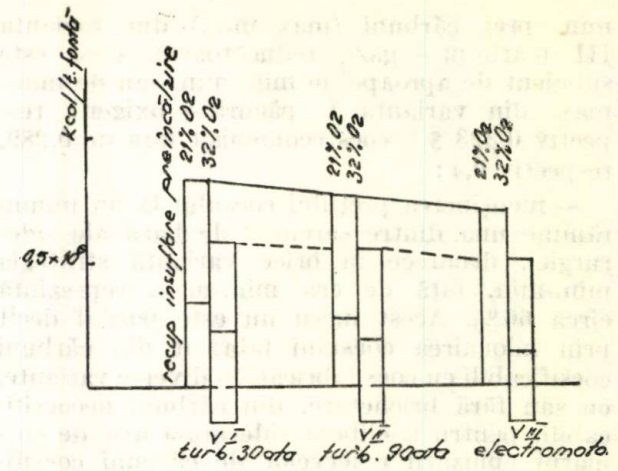


Fig. 9. Consumul energetic total la insuflarea şi preîncălzirea aerului.

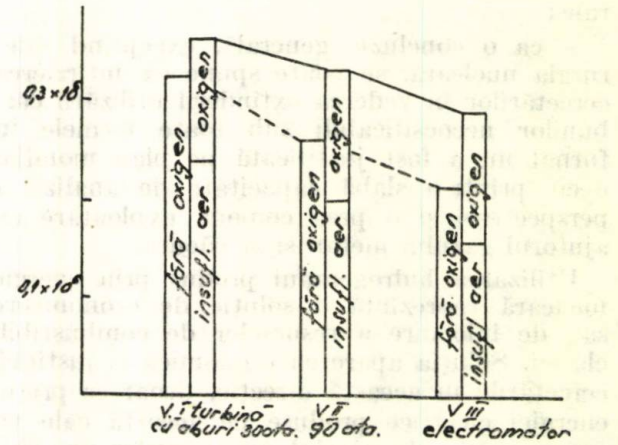


Fig. 10. Consumuri energetice pentru insuflarea aerului (exclusiv preîncălzire).

reprezintă 76 % din cea consumată în cazul unui conţinut de oxigen de 21 %.

— Dacă insuflarea oxigenului se analizează din punct de vedere energetic şi economic în bilanţul furnalului propriu-zis, utilizarea oxigenului aduce o economie energetică la insuflarea propriu-zisă de aer, consumul de energie la insuflare fiind de 72 % din cel al utilizării aerului normal.

— Analiza de mai sus a tratat numai unele aspecte. Ca urmare, o analiză cuprinzătoare a tuturor aspectelor energetice ale furnalului, ce va fi prezentată în viitor, poate determina o politică energetică a elaborării fontei cu însemnate economii de energie şi valută.

6. Aspecte energetice ale ansamblului furnale-suflante

În capitolele precedente s-au analizat, din punct de vedere energetic şi economic, variantele :

I. Înlocuirea cocsului cu păcură injectată la gurile de vînt.

II. Înlocuirea cocsului cu cărbuni injectați la gurile de vînt.

III. Înlocuirea cocsului cu cărbuni injectați la gurile de vînt și cu gaze reducătoare insuflate la baza cuvei.

IV. Înlocuirea cocsului cu hidrogen insuflat la gurile de vînt și la baza cuvei, produs cu ajutorul energiei nucleare.

Din punct de vedere energetic s-au analizat variantele:

1. Antrenarea suflantei cu turbină cu abur de 35 at.
2. Antrenarea suflantei cu turbină cu abur de 90 at.
3. Antrenarea cu electromotor.
4. Influența adaosului de oxigen în aerul insuflat.

În cele ce urmează se va determina influența recuperării energiei fizice a gazului de furnal, prin detenta sa în turbine de expansiune (amplasate de regulă la gîtul furnalelor), asupra balanței energetice globale și se vor sintetiza rezultatele energetice, în vederea unei comparații generale.

Calculul energiei de expansiune a gazului de furnal

Se calculează pentru:

— volumul gazului $V = 100 \times 10^3$ Nm³/h;
— temperatura $t_1 = 200°C$;
— presiunea inițială $P_1 = 2{,}5$ at;
— presiunea finală $P_2 = 1{,}2$ at;

$$V_1 = \frac{100 \times 10^4 \times 473}{2{,}5 \times 273} = 69304 \text{ m}^3$$

Lucrul mecanic adiabatic se calculează cu formula:

$$L = \frac{1}{\eta - 1} P_1 V_1 \left[1 - \frac{(P_2)^{\frac{n-1}{n}}}{(P_1)} \right.$$

coeficientul adiabatic $\eta = 1{,}35$.

Lucrul mecanic rezultat:

$L = 103\,819 \times 10^4$ kgm sau
$L = 3\,283\,715$ kcal sau
$P = 3\,818$ kW

Practic, debitul de gaz garantat este mai mic decît cel nominal (echilibrarea clopotelor, pierderi etc.), astfel că se ia 75% și se admite un randament al turbinei de 65%:

$L = 50\,612 \times 10^4$ kgm pentru 100×10^3 Nm³/h
$L = 1\,600\,811$ kcal
$L = 1\,861$ kW

Dacă se recalculează pe tona fontă, considerînd 1600 Nm³gaz/t fontă și pentru furnale de capacitate mare, rezultă că se pot recupera 30 kWh/t fontă, valoare care se apropie de ordinul de mărime al tuturor consumatorilor de energie electrică ai unui sector de furnale (excepție oxigen, suflante).

Se cunoaște că utilizarea unor asemenea turbine a început să se generalizeze, mai ales

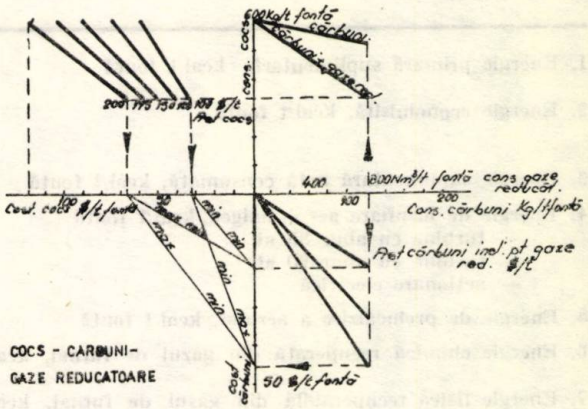


Fig. 11.

în U.R.S.S. și Japonia, dar, din lipsa unor date mai concrete, calculul s-a menținut în limitele sale teoretice.

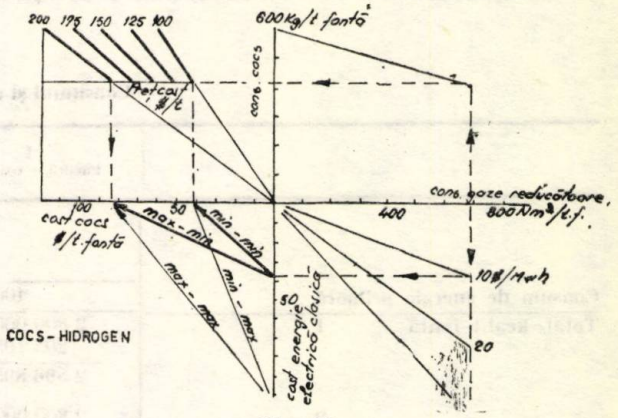


Fig. 12.

Rezultatele tuturor calculelor efectuate în cap. 4 și 5 se sintetizează în tabelele 9 și 10.

În tabelul 9 s-au prevăzut diferențele pozitive sau negative ale consumului de energie față de un mers de referință, luînd în considerare variantele de economisire a cocsului din furnal, variantele de insuflare a aerului și variantele de recuperare a energiei chimice și fizice a gazului de furnal.

În tabelul 10 se calculează consumul total de energie, adăugînd deci și consumul de cocs rezultat și se trece în paralel și costul combustibililor și energiei în diferitele strategii de preț.

Concluzii generale

Din examinarea tabelelor 9 și 10 și luînd în considerare cele expuse în cap. 4 și 5, se pot extrage următoarele concluzii generale:

— Variantele de înlocuire a cocsului sînt comparabile între ele, cu excepția utilizării

Tabelul 9

Consumul global de energie, exclusiv cocsul

	I Păcură + oxigen	II Cărbuni	III Cărbuni + gaze reducătoare	IV Hidrogen
1. Energie primară suplimentară, kcal/t fontă	1 900 000	720 000	2 955 000	3 192 750
2. Energie economisită, kcal/t fontă	190×7000= =1 330 000	72×7000= =504 000	267×7000= =1 869 000	180×7000= =1 260 000
3. Energie suplimentară netă consumată, kcal/t fontă	570 000	216 000	1 086 000	1 932 750
4. Energie de insuflare aer + oxigen, kcal/t fontă				
— turbine cu abur 35 at	367 880	325 530	325 530	325 530
— turbine cu abur 90 at	328 483	271 100	271 100	271 100
— acționare electrică	285 915	212 300	212 300	212 300
5. Energie de preîncălzire a aerului, kcal/t fontă	367 125	507 300	507 300	507 300
6. Energie chimică recuperată din gazul de furnal, kcal/t fontă	1 528 920	1 344 750	1 344 750	1 344 750
7. Energie fizică recuperabilă din gazul de furnal, kcal/t fontă	20 810	25 613	25 613	25 613
8. Total energie calculată (3 + 4 + 5) − (6 + 7) 1	−203 105	−270 307	+548 467	+1 395 217
2	−292 502	−325 737	+502 637	+1 340 787
3	−417 370	−383 537	+435 237	+1 281 987

Obs. Diferențele dintre cele trei variante în debitul de gaz și puterile calorice respective au fost neglijate, cu excepția insuflării cu sau fără oxigen.

Tabelul 10

Consumul și costul global de energie

	I Păcură + oxigen	II Cărbuni	III Cărbuni + gaze reducătoare	IV Hidrogen
	Consum cocs, kg/t fontă			
Consum de energie primară	400	538	333	420
Total, kcal/t fontă 1	2 800 000− 203 105 = 2 596 895	3 766 000− 270 307 = 3 495 693	2 331 000+ 548 467 = 2 879 467	2 940 000+ 1 395 217 = 4 335 217
2	2 800 000− 242 502 = 2 557 498	3 766 000− 325 737 = 3 440 263	2 831 000+ 502 637 = 2 833 637	2 940 000 + 1 340 787 = 4 280 787
3	2 800 000− 417 370 = 2 382 630	3 766 000− 383 537 = 3 382 463	2 331 000+ 435 237 = 2 766 237	2 940 000+ 1 281 987 = 4 221 987
Cost combustibil și energie, $/t fontă				
Strategii: min. — min.	42,80	43,40	45,62	54,12
min. — max.	65,16	48,20	65,78	128,30
max. — max.	105,16	111,00	99,38	171,30
max.—min.	82,10	96,20	73,22	84,12

Obs. Din costul combustibililor și energiei, astfel cum a fost determinat în (9) s-au scăzut 15, respectiv 13 $/t fontă, reprezentînd contravaloarea energiei recuperate la un cost de 0,01 × 10^{-3} $/kcal.

cărbunilor insuflați la gurile de vînt, care, în stadiul tehnologiilor experimentate în prezent, nu au trecut de pragul de 120 kg/t fontă și deci nu au fost combinate cu utilizarea oxigenului.

— Comparația consumului global de energie se prezintă în tabelul 11.

Se observă următoarele:

— Acționarea electrică a suflantelor rămîne cea mai avantajoasă. Diferențele mici fac însă ca alte argumente tehnice și economice să decidă soluția. Ca termen de comparație s-a luat acționarea cu turbine cu abur de 90 at.

— Variantele I (păcură + oxigen) și III (cărbuni + gaze reducătoare) sînt aproximativ echivalente, mai favorabilă rămînînd varianta I, cu o diferență de circa 10%.

— Din punct de vedere energetic, varianta cu hidrogen produs prin electroliză este cea mai dezavantajoasă, cu un plus de energie de circa 45%.

Tabelul 11

Consumul global de energie furnale-suflante, %

		Mers de referinţă	I — păcură + oxigen	II — cărbuni	III — cărbuni + gaze reducă-toare	IV — hidro-gen
Consum cocs, kg/t fontă		600	400	538	333	420
Turbină cu abur 35 at	1	101,9	89	120	99	149
Turbină cu abur 90 at	2	100,0	88	118	97	147
Acţionare electrică	3	99,85	82	116	95	145

Obs. Diferenţele în debitele şi puterile calorice ale gazului, cu excepţia funcţionării cu sau fără oxigen, au fost neglijate.

— Decizia trebuie luată la nivelul structurii energiei şi aproape exclusiv în funcţie de costuri, deoarece toate problemele tehnologice vor fi rezolvate.

— Atît din punct de vedere energetic, cît şi din punct de vedere economic, cocsul rămîne

Tabelul 12

Participarea energetică a cocsului în bilanţul global, %

		Mers de referinţă	I — păcură + oxigen	II — cărbuni	III — cărbuni + gaze reducă-toare	IV — hidro-gen
Turbină cu abur	1	141	108	108	81	68
Turbină cu abur 90 at	2	144	109,5	109	87	69
Acţionare electrică	3	145	117	111	84	70

cea mai importantă poziţie. Participarea sa energetică se prezintă în tabelul 12.

Modul de alcătuire a tabelului nu trebuie să surprindă, deoarece în consumul global de energie s-au exclus toate recuperările posibile, independent de sectorul în care sînt utilizate. Structura preţurilor în strategiile adoptate se compune, mergînd numai pe varianta 2, în felul arătat în tabelul 13.

Tabelul 13

Structura preţurilor

Cocs + păcură + prod. O_2	Total, $/t fontă	Recuperări gaz + energie electrică	Cocs	Păcură	Oxigen	Cărbuni + cărbuni pentru insuflare var. 2	Gaze reducătoare	H_2
Var. I								
a) min.	43,70	15	40	17,1	0,72	—	—	—
min.		0,3				1,20		
b) min.	66	15	80	38	2,16	—	—	—
max.		0,3				1,20		
c) max.	92	30	80	38	2,16	—	—	—
max.		0,9				2,80	—	—
d) max.		30	80	17,1	0,72	—	—	—
min.	70	0,9				2,80		
Var. II								
a) min.	43	15	52,80	—	—	3,60	—	—
min.		0,3				1,50		
b) min.	47,40	15	52,80	—	—	8,40	—	—
max.		0,3				1,50		
c) max.	86,50	30	105,60	—	—	8,40	—	—
max.		0,9				3,50		
d) max.	81,70	30	105,60			3,60	—	—
min.		0,9				3,50		
Var. III								
a) min.	39	15	33	—	—	19,62	—	—
min.		0,3				1,40	Produse	
b) min.	64	15	33	—	—	45,78	din	—
max.		0,3				1,40	cărbuni	—
c) max.	84	30	66,6	—	—	45,78	—	
max.		0,9				3,0		
d) max.	58	30	66,6	—	—	19,62		
min.		0,9				3,0		
Var. IV								
a) min.	65	15	42	—	—	—	—	37,12
min.		0,3				1,30		
b) min.	139	15	42	—	—	—	—	111,3
max.		0,3				1,30		
c) max.	167	30	84	—	—	—	—	111,3
max.		0,9				2,90		
d) max.	93	30	84	—	—	—	—	37,12
min.		0,9				2,90		
Mers de referinţă —								
min.	45	15	60	—	—	—	—	
max.	90	30	120	—	—	—	—	

Obs. Aproximaţiile rezultate din lipsa unor calcule detaliate nu influenţează sensul concluziilor.

Tabelul 14

Strategiile și variantele avantajoase

	Mers de referință	I – păcură + oxigen	II – cărbuni	III – cărbuni + gaze reducătoare	IV – hidrogen
1. Consum cocs, kg/t fontă	600	400	538	333	420
2. Consum combustibili auxiliari	–	190 kg/t 90 Nm³/t	120 kg/t	120 kg/t 750 Nm³/t	675 Nm³/t
3. Cost combustibili și energie, $/t fontă.					
Strategia c, max.-max.	90	92	86,50	84	167
Strategia b, min.-max.	45	66	47,40	64	139
Strategia a, min.-min.	45	43,70	43	39	54

Pentru a clarifica concluziile se subliniază următoarele strategii și variante :

— *Strategia c*, valabilă pentru toate variantele și care reprezintă maxim preț cocs și maxim preț combustibili auxiliari. În acest caz, utilizarea cărbunilor, în special sub formă de gaze reducătoare, este cea mai avantajoasă variantă.

— *Strategia b*, care reprezintă minim preț cocs și maxim preț combustibili auxiliari, rămîne foarte importantă în ipoteza fabricării cocsului din combustibili neaglutinanți. În acest caz, mersul de referință rămîne cel mai avantajos.

— *Strategia a* (min.-min.) este importantă în funcție de cele menționate la strategia b pentru varianta III, care devine cea mai avantajoasă. Rezultatele sînt arătate în tabelul 14.

Concluziile finale care rezultă sînt următoarele :

— Utilizarea cocsului fabricat din cărbuni necocsificabili este cea mai avantajoasă soluție. Deoarece atît tehnologia fabricării cocsului, cît și tehnologia elaborării fontei în aceste condiții nu sînt încă foarte puse la punct, aceasta trebuie combinată cu insuflarea cărbunilor și a gazelor reducătoare produse din cărbuni.

— Utilizarea oxigenului, deși avantajoasă în sine, combinată cu injectarea păcurii oferă costuri comparabile cu mersul de referință și prezintă avantaje numai în funcție de posibilitățile de aprovizionare.

— Hidrogenul fabricat cu ajutorul energiei electrice de origine nucleară devine avantajos la o reducere a prețurilor energiei respective față de sursele clasice cu circa 50 %, ceea ce se consideră posibil în perspectivă.

— Utilizarea reducătorilor auxiliari produși din cărbuni se impune numai ca o soluție de etapă, putînd suporta și comparația cu energia nucleară.

Calculele sînt indicative, oferă o metodă și gradul de aproximație nu schimbă sensul concluziilor.

Bibliografie

[1] * * * ONUDI. *L'industrie sidérurgique dans les pays en voie de développement. Etude preliminaire de la situation actuelle et des perspectives de développement et de coopération internationale.* Vienne, décembre 1974, janvier 1975.

[2] Swen Eketrop. *A proposal for a future steel plant and research programm.* Special lecture held in Bucharest, Romania, march 1979.

[3] Stănescu, N. *Noua ordine economică internațională.* Institutul de cercetări comerciale, 1976.

[4] Florescu, M. *Resursele mondiale și limitele lor.* Editura politică, București, 1975.

[5] Trebici, V. *Mică enciclopedie de demografie.* Editura științifică și enciclopedică, București, 1975.

[6] * * * C.E.E.—O.N.U. *Evolution des formes d'énergie utilisée dans l'industrie sidérurgique.* ECE/STEEL, 12 sept. 1975.

[7] Pötken, H. G. și Bühl Bochum, E. *Ausswirkung der Struktur eines Unternehmens auf seine Energiewirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Energieaussnutzung.* În : Stahl und Eisen, nr. 3, 1975.

[8] Astier, J., Della Casa, H. și Enery, P. *Utilisation de l'énergie et ses perspectives dans les diverses filières d'élaboration de l'acier.* În : Revue de métallurgie, sept. 1974.

[9] * * * *Aprecieri cu privire la perspectivele de viitor în producția de oțel.* În : Kohaszat, R.P.U., nr. 10, 1972.

(Articol intrat în redacție la 7 mai 1981)

Detensionarea mecanică a îmbinărilor sudate — procedeu eficient și economic

Dr. ing. V. Luca,
Ing. Fl. Andreescu,
Ing. Alex. Forje*)

În urma diverselor prelucrări la rece sau cald, în timpul cărora materialele suferă deformări elastico-plastice neuniforme, în piese sau semifabricate rămîn totdeauna tensiuni remanente. Aceste tensiuni pot fi cauza deformării pieselor, a instabilității lor dimensionale și totodată acestea pot determina scăderea rezistenței la rupere, la oboseală, la fluaj sau la coroziune. De cele mai multe ori aceste tensiuni remanente sînt nedorite și îndepărtarea sau reducerea lor se face prin detensionarea fie pe cale termică, fie prin procedee mecanice.

Valoarea tensiunilor reziduale scade lent în timp, chiar și la temperatura ambiantă, prin relaxarea structurii, dar procesul poate fi mult accelerat prin încălzirea materialului la temperaturi înalte. Deoarece tensiunile remanente nu pot depăși limita de curgere, curgerea plastică va face să se micșoreze tensiunile remanente la valoarea limitei de curgere ce corespunde temperaturii la care s-a făcut încălzirea. Prin încălzire pot fi deci eliminate tensiunile remanente ce depășesc limita de curgere corespunzătoare temperaturii de încălzire. Se desprinde deci ideea că temperatura la care trebuie încălzită piesa supusă detensionării trebuie să fie cît mai înaltă, dar sub temperatura de transformare, în cazul în care nu se urmărește o modificare a microstructurii. Răcirea de la această temperatură trebuie să se facă lent, astfel încît să fie eliminată posibilitatea apariției unor noi tensiuni.

Alungirile, respectiv contracțiile diferite care produc tensiuni remanente de valoare ridicată pot fi însă eliminate și printr-o deformare plastică la temperatura ambiantă. De la caz la caz, funcție de felul tensiunilor remanente, se pot obține detensionări prin noi solicitări la compresiune sau tracțiune, prin vibrare, tobare sau sablare. De exemplu, o suprafață ce conține tensiuni remanente de întindere poate căpăta o distribuție de tensiuni de compresiune, care sînt în general mai avantajoase, printr-un proces de prelucrare a suprafeței cum ar fi roluirea sau bombardarea cu alice. Este important ca atunci cînd se utilizează un procedeu mecanic de detensionare să se aleagă condițiile de lucru corespunzătoare pentru a se anula distribuția inițială a tensiunilor.

Problema detensionării îmbinărilor sudate prezintă o importanță deosebită. Funcție de calitatea materialului de bază, a materialului de adaos, a metodei și tehnicii de sudare, precum și a soluțiilor constructive adoptate, valoarea tensiunilor remanente poate varia în limite foarte largi, în unele cazuri putîndu-se compromite întreaga construcție sudată.

La luarea deciziei privind aplicarea unui anumit procedeu de detensionare trebuie acordată atenție unor anumite considerente economice, metalurgice și tehnice. În general, detensionarea pe cale mecanică este mai economică, aceasta necesitînd totdeauna un consum mult mai mic de energie. Procedeele mecanice de detensionare nu pot fi însă aplicate la toate tipurile de structuri sau piese asamblate prin sudură, în anumite situații fiind absolut necesară aplicarea detensionărilor pe cale termică.

În această lucrare sînt prezentate unele rezultate obținute experimental privind detensionarea îmbinărilor sudate prin ciocănire, prin tobare și prin tratament termic.

Există numeroase posibilități de apreciere a tensiunilor remanente, din piese sau epruvete, autorii alegînd dintre acestea metoda dinamică a rezonanței, metodă cu ajutorul căreia pot fi determinate atît modulul de elasticitate longitudinal, cît și frecarea internă.

În timpul unor prelucrări la cald sau la rece, precum și în timpul detensionării pe cale termică sau mecanică, se vor înregistra anumite variații ale modulului de elasticitate longitudinal și a frecării interne. Aceste variații sînt foarte mici și pot fi puse în evidență doar prin metoda rezonanței cu ajutorul vibrațiilor cvasilongitudinale sau de încovoiere forțată. În cazul de față a fost utilizată metoda vibrațiilor cvasilongitudinale, urmărindu-se curbele de rezonanță a diverselor epruvete și, pe baza acestora, determinîndu-se modulul de elasticitate longitudinal și decrementul logaritmic. Metoda utilizată permite determinarea acestor mărimi cu o precizie ridicată, erorile maxime de determinare a modulului de elasticitate fiind de $\pm$ 0,23 % și ale decrementului logaritmic de $\pm$ 0,29 %.

1. Determinarea modulului de elasticitate prin încercări cu vibrații cvasilongitudinale forțate

Se admite în general că proprietățile elastice ale metalelor și aliajelor sînt independente de structură. Totuși, acest lucru nu este în general valabil; funcție de compoziția chimică, de distribuția constituenților și de starea de tensiune, se înregistrează variații ale acestor proprietăți. Aceste variații sînt extrem de mici și pentru a le pune în evidență sînt necesare metode de măsurare extrem de precise. Poate cea mai precisă metodă ar fi aceea a încercărilor cu vibrații cvasilongitudinale forțate.

Din teoria vibrațiilor se cunosc relațiile care leagă între ele frecvența de rezonanță a unei epruvete, viteza de propagare a oscilațiilor și modulul de elasticitate.

*) Dr. ing. Vasile Luca și ing. Florin Andreescu sînt cadre didactice la Universitatea din Brașov; ing. Alexandru Forje este cercetător științific la ICEMENERG.

În cazul unei epruvete încastrate la mijloc și liberă la ambele capete:

$$f_{ln} = \frac{n \cdot v_l}{2 \cdot l} = \frac{n}{2l}\sqrt{\frac{E}{\rho}}, \qquad (1)$$

unde

f_{ln} este frecvența de rezonanță;
n — nr. de ordine al armonicii;
v_l — viteza de propagare a vibrațiilor longitudinale;
l — lungimea epruvetei în direcția propagării vibrațiilor;
E — modulul de elasticitate longitudinal;
ρ — densitatea epruvetei.

Din relația (1) rezultă:

$$E = \frac{4 \cdot l^2 \cdot \rho}{n^2} \cdot f_{ln}, \quad (n = 1, 2, 3 \ldots m) \qquad (2)$$

Cunoscînd deci lungimea epruvetei, densitatea ei și determinînd experimental frecvența de rezonanță, poate fi determinat modulul de elasticitate.

Relația (2) s-a obținut în ipoteza că orice secțiune plană a epruvetei rămîne plană și în timpul vibrației și că tensiunile sînt uniform distribuite pe secțiune. Ipoteza este valabilă pentru cazul epruvetelor care au o lungime l mult mai mare decît diametrul d. Dacă l/d are valori mici, apar perturbații în propagarea undelor longitudinale, frecvența de rezonanță fiind afectată de coeficientul lui Poisson, acesta fiind și el dependent de structură.

2. Determinarea decrementului logaritmic prin încercări cu vibrații cvasilongitudinale forțate

Dacă epruveta este solicitată de o forță armonică a cărei frecvență poate varia, iar amplitudinea vibrațiilor epruvetei se exprimă în funcție de frecvență, curba respectivă are un maxim pentru frecvența de rezonanță f_r, coborînd de o parte și de alta a acestui punct.

Pentru caracterizarea capacității de amortizare și a stării de tensiune a materialelor, se folosește decrementul logaritmic, care se determină din curba de rezonanță după relația:

$$\delta = \frac{2\Delta f}{f_r} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{X_{max}}{X}\right)^2 - 1}}, \qquad (3)$$

în care

f este frecvența de rezonanță;
Δf — variația frecvenței forței perturbatoare care provoacă micșorarea amplitudinii de rezonanță X_{max}, pînă la valoarea X_1, respectiv X_2.

Variația frecvenței Δf poate fi măsurată prin două metode, dintre care cel mai des este utilizată aceea cînd amplitudinea:

$$X_1 = X_2 = \frac{X_{max}}{\sqrt{2}} \qquad (4)$$

În acest caz rezultatele sînt mai puțin influențate de armonicile vecine care perturbă simetria curbei de rezonanță.

Astfel, din (3) și (4) rezultă:

$$\delta = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta f}{f_r} \qquad (5)$$

Pentru a obține o precizie mai mare, se măsoară frecvențele f_1 și f_2 pentru X în ambele părți ale punctului de rezonanță (fig. 1), utilizîndu-se pentru calculul decrementului logaritmic relația:

$$\delta = \frac{\pi(f_2 - f_1)}{f_r} \qquad (6)$$

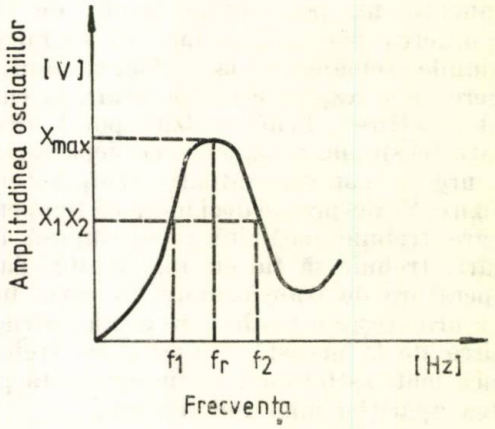


Fig. 1. Curbă de rezonanță.

3. Aparatura utilizată

În figura 2 este redată schema-bloc a instalației pentru determinarea modulului de elasticitate și a decrementului logaritmic prin metoda vibrațiilor cvasilongitudinale forțate.

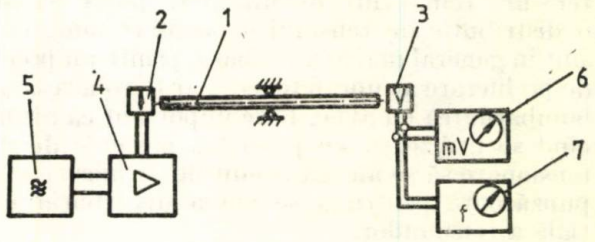


Fig. 2. Schema instalației de audiofrecvență pentru determinarea modulului de elasticitate longitudinal dinamic și a decrementului logaritmic.

În epruveta *1*, fixată la mijloc, se generează unde sonore. Oscilațiile electrice de audiofrecvență produse de generatorul *5* și amplifi-

cate de amplificatorul *4* pot fi variate și sînt transformate în unde elastice prin intermediul traductorului electromagnetic *2*. Traductorul nu este în contact cu epruveta, pentru ca aceasta să poată oscila liber. Epruveta va vibra cu amplitudine maximă atunci cînd frecvența tensiunii generatorului coincide cu frecvența de oscilație proprie, ceea ce are loc la rezonanță.

Oscilațiile elastice ale epruvetei sînt transformate de traductorul *3* în oscilații electrice, care se aplică la bornele milivoltmetrului electronic *6*.

La rezonanță, milivoltmetrul va indica o tensiune maximă, iar epruveta va emite sunete puternice. Cu ajutorul frecvențmetrului *7* se măsoară frecvența de rezonanță f_r, iar apoi frecvențele corespunzătoare punctelor f_1 și f_2 din figura 1.

Utilizînd relațiile (2) și (6), se pot determina modulul de elasticitate longitudinal și decrementul logaritmic.

4. Rezultate experimentale

Pentru urmărirea transformărilor ce se produc în barele sudate în timpul detensionării prin diverse metode, au fost confecționate cîte trei epruvete din materiale diferite, respectiv din OLC 15, OLC 45 și 18 SM 14. Au fost executate epruvete cu dimensiunile Ø 20 × 220 mm. Celor nouă epruvete li s-a determinat, prin metoda vibrațiilor longitudinale, modulul de elasticitate și decrementul logaritmic. Epruvetele au fost apoi crestate la mijloc prin strunjire, lăsîndu-se o inimă de Ø 5 mm care să mențină legătura dintre cele două părți ale epruvetei și astfel să se păstreze axialitatea ei și după încărcarea cu sudură. Tot prin strunjire au fost realizate și rosturile necesare în vederea încărcării (fig. 3).

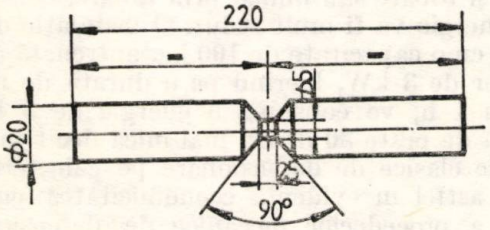


Fig. 3. Epruveta destinată încărcării cu sudură.

Sudarea s-a făcut în condiții obișnuite utilizînd un generator de curent continuu și electrozi corespunzători.

Epruvetele nr. 1, 4 și 7 după sudare nu au fost lăsate să se răcească în condiții obișnuite, ci au fost lovite ușor cu un ciocan de 500 g, pe direcție radială în zona sudurii și în zona de influență termică. Această ciocănire s-a făcut pe toată durata răcirii. În timpul acestei operații, epruveta nr. 4 s-a rupt fragil în zona influențată termic. Trebuie arătat că în mod intenționat nu s-a luat vreo măsură specială de prevenire a fisurării epruvetelor din OLC 45 pentru a se studia efectul tensiunilor remanente în aceste condiții.

Toate epruvetele au fost apoi strunjite la dimensiunile Ø 18 × 200 mm, după care a urmat o nouă determinare a modulului de elasticitate și a decrementului logaritmic.

Rezultatele acestor determinări sînt prezentate în tabelele 1 și 2.

Din analiza tabelelor 1 și 2 rezultă că după sudare modulul de elasticitate scade, iar frecarea internă, respectiv decrementul logaritmic cresc. Acest lucru se datorează în primul rînd tensiunilor interne ce iau naștere în epruvetele sudate. Rezultatele prezentate în tabelele 1 și 2 evidențiază și influența conținutului de carbon, precum și a elementelor de aliere asupra stării de tensiune a epruvetelor sudate. Decrementul logaritmic crește, iar modulul de elasticitate scade după sudare, cu atît mai mult cu cît conținutul de carbon și cel al elementelor de aliere este mai ridicat.

Tabelul 1

Variația modulului de elasticitate longitudinal la sudare și în timpul detensionării prin ciocănire, tobare și recoacere

Material	Nr. epr.	E_L inițial [Nmm²]	ΔE_L [Nmm²] după:				Obs.
			sudare și strunjire	sudare, ciocănire strunjire	tobare	recoacere	
OLC 15	1	219428	—	−3273	−2106	−1628	
	2	218039	−5273	—	—	−2420	
	3	218022	−4831	—	−2870	−1814	
OLC 45	4	213910	—	—	—	—	rupt la ciocănire
	5	213417	−9326	—	—	−4315	
	6	213205	−8837	—	−6209	−4108	
18SM14	7	217312	—	5170	−4305	−3216	
	8	217023	−6322	—	—	−3029	
	9	216921	−6408	—	−3924	−2821	

Epruvetele 1 și 7 prezintă scăderi mai mici ale modulului de elasticitate și creșteri mai mici ale decrementului logaritmic în comparație cu celelalte epruvete. Diferențele înregistrate sînt de 30—40 % și se poate aprecia că și tensiunile remanente sînt în aceeași proporție mai reduse. Rezultă deci că ciocănirea îmbinării sudate și a zonei de influență termică are ca efect reducerea apreciabilă a tensiunilor remanente.

Epruvetele 1, 3, 6, 7 și 9 au fost introduse apoi într-o instalație de tobare, împreună cu piese din fontă care aveau o greutate de circa 600 g. Ele au fost menținute în această tobă timp de 30 minute, după care s-au efectuat

Tabelul 2

Variația decrementului logaritmic la sudare și în timpul detensionării prin ciocănire, tobare și recoacere

Material	Nr. epr.	δ_l inițial 10^{-4}	$\Delta\delta_L \cdot 10^{-4}$ după:				Obs.
			sudare și strunjire	sudare, ciocănire, strunjire	tobare	recoacere	
OLC 15	1	2,4127	—	+0,7385	+0,4627	+0,3146	
	2	2,4921	+1,0234	—	—	+0,4002	
	3	2,4308	+1,0221	—	+0,5372	+0,3206	
OLC 45	4	3,9524	—	—	—	—	rupt la ciocănire
	5	3,8732	+1,9423	—	+0,7212	+0,5232	
	6	3,9621	+2,1874		+0,6140	+0,5127	
18 SM 14	7	4,7514	—	+0,8031	+0,6513	+0,4932	
	8	4,8820	+1,3341	—	—	+0,4121	
	9	4,8796	+1,6223	—	+0,7230	+0,4239	

noi măsurări, determinîndu-se din nou modulul de elasticitate și decrementul logaritmic. Din analiza variației acestor mărimi rezultă că această operație de tobare, care se face de obicei cu scopul curățirii și debavurării pieselor, are și un puternic efect de detensionare. Această operație poate fi deci introdusă cu succes pe fluxurile tehnologice de fabricație a pieselor mărunte obținute prin sudare, eliminîndu-se necesitatea aplicării tratamentului termic de detensionare, caracterizat printr-un ciclu de lungă durată și un consum însemnat de energie.

În final toate epruvetele au fost supuse operației de detensionare termică, respectiv unei recoaceri de detensionare. Epruvetele au fost introduse într-un cuptor electric de laborator. Viteza de încălzire a fost de 250°C/h, temperatura la care s-a făcut menținerea timp de o oră a fost de 550°C, iar viteza de răcire a fost de 150°C/h. La finele acestui ciclu de tratament termic s-a măsurat din nou modulul de elasticitate și decrementul logaritmic. Se constată că în cazul detensionării termice se obține un modul de elasticitate maxim, dar sub valoarea celui inițial, adică al materialului nesudat. De asemenea, variația decrementului logaritmic este în concordanță cu cea a modulului de elasticitate.

Trebuie arătat că epruvetele la care s-a făcut detensionarea mecanică prin ciocănire și tobare, sau numai prin tobare, urmată apoi de o recoacere de detensionare, prezintă în final tensiunile remanente cele mai reduse, valorile modulului de elasticitate și ale decrementului logaritmic fiind cele mai apropiate de valorile inițiale ale materialului nesudat. De asemenea se observă că epruvetele supuse ciocănirii și apoi tobării prezintă tensiuni interne finale apropiate de cele ale epruvetelor cărora după sudare li s-a aplicat o recoacere de detensionare. Rezultă deci că prin ciocănire, prin tobare sau vibrare după sudare tensiunile remanente se reduc foarte mult, ajungîndu-se la rezultate comparabile cu cele obținute printr-o recoacere de detensionare.

În condițiile efectuării unei recoaceri de detensionare într-un cuptor electric de revenire, avînd o capacitate de 100 kg și o putere instalată de 30 kW, se consumă pe durata unui ciclu de tratament termic, adică în circa 8 h, o energie de 100 kWh. Pentru obținerea unei detensionări apropiate, efectuate prin ciocănire și tobare sau numai prin tobare, consumul de energie va fi mult redus. O instalație de tobare cu o capacitate de 100 kg, antrenată de un motor de 3 kW, lucrînd pe o durată de maximum 1 h, va consuma o energie de 3 kWh, adică de peste 30 de ori mai mică decît în condițiile clasice de detensionare pe cale termică. Iese astfel în evidență economicitatea energetică a procedeelor mecanice de detensionare.

Concluzii

A. În cadrul cercetărilor s-au urmărit variațiile modulului de elasticitate longitudinal și ale decrementului logaritmic în timpul operației de sudare, precum și în timpul detensionării prin ciocănire, prin tobare și prin tratament termic.

B. S-a pus în evidență că procedeele de detensionare mecanică prin ciocănire și prin tobare au o eficiență ridicată, obținîndu-se pe această cale detensionări comparabile cu cele realizate prin tratament termic.

C. Detensionarea mecanică este de circa 30 de ori mai economică din punct de vedere energetic decît detensionarea termică.

Bibliografie

[1] Acsel, O. și Bozan, C. *Dislocațiile și frecarea internă la metale.* Editura Facla, Timișoara, 1974.

[2] Dâmboiu, E. *Considerații asupra măsurării frecării interne în solide.* În : Studii și cercetări de mecanică aplicată, 28, nr. 1, 1969, p. 169–182.

[3] Tudoran, P. și Luca, V. *Cercetarea proprietăților elastice și mecanice ale fontelor cu ajutorul vibrațiilor* (lb. germană). Al 7-lea simpozion internațional de tratamente termice, București, sept. 1979, referat nr. 12.

[4] Luca, V., Bejan, V., Andreescu, F. și Trif, N. *Cercetări privind variația modulului de elasticitate și a frecării interne în timpul detensionării fontelor.* Creația tehnică și fiabilitatea în construcția de mașini, Iași, dec. 1978, p. 126–131.

[5] Cisman, A., Rothenskin, B. și Policec, A. *Fenomene fizice în metale feromagnetice solicitate.* Ed. Academiei R.S.R., București, 1968.

[6] * * * *Will vibratory stress relief displace heat treating?* În : IAMI nr. 8, 1978, p. 31–33.

(Articol intrat în redacție la 30 martie 1981)

Reducerea consumurilor specifice de combustibil și de energie electrică în centralele electrice

Modele de calcul unidimensionale pentru temperaturile apei și aerului la ieșirea din turnurile de răcire umede în contracurent

Ing. **C. Dumitru**,
Ing. **Silvia Ciobanu**,
Matem. **P. Treanță***)

În practica de proiectare și exploatare a turnurilor de răcire este interesant și util să se cunoască modul în care următorii parametri influențează temperaturile apei și aerului la ieșirea din turnul de răcire, și anume : cifra Merkel (K_e), multiplul de aer (λ), temperatura aerului ambiant la termometrul uscat (θ_1) și umed (τ_1), umiditatea relativă a aerului ambiant (φ_1) și intervalul de răcire a apei în turn (Δt).

Lucrarea de față indică posibilitatea calculării temperaturii apei răcite (t_2) și a aerului (θ_2), la ieșirea dintr-un turn umed în contracurent, cunoscînd parametrii enumerați mai sus.

Pe baza modelelor de calcul : $t_2 = f(K_e, \lambda, \Delta t, \tau_1)$ și $\theta_2 = f(K_e, \lambda, \Delta t, \theta_1, \varphi_1)$, se poate determina mai ușor varianta optimă de turn ($K_{e\,optim}$, λ_{optim}) și se pot trasa mai simplu curbele de funcționare pentru varianta aleasă.

Valoarea parametrului λ se va determina în așa fel încît să fie satisfăcută egalitatea între tiraj și pierderea de sarcină aerodinamică a turnului de răcire.

Modelele de calcul sînt unidimensionale întrucît nu iau în considerație decît înălțimea umpluturii și a zonelor de stropire (prin evidențierea dependenței $K_e = f$ (tipul umpluturii și al sistemului de stropire, înălțimea umpluturii și a zonelor de stropire etc.). Deoarece numărul de variabile independente, considerate la generalizare, a fost destul de mare (patru la determinarea valorii t_2 și cinci la determinarea valorii θ_2), în această etapă s-a neglijat efectul razei turnului.

Lucrarea mai cuprinde considerații legate de alegerea parametrilor aerului la dimensionarea turnurilor de răcire umede în contracurent.

*) Autorii lucrează la ICEMENERG.

1. Stabilirea relației generalizate de calcul a temperaturii apei răcite

Pentru aflarea temperaturii apei răcite (t_2), cunoscînd diferitele valori ale parametrilor K_e, λ, Δt, τ_1, s-a folosit un program de calcul pentru determinarea curbelor de funcționare, bazat pe metoda globală Merkel, valabil pentru turnurile de răcire umede în contracurent cu tiraj natural sau forțat. Rulările s-au făcut pe un calculator FELIX CE 256, pentru o presiune barometrică de 755 mm Hg.

Ca parametru care să sintetizeze condițiile de ambianță, s-a considerat, după cum se vede, numai temperatura aerului la termometrul umed (τ_1), care constituie limita teoretică a răcirii prin evaporare. Aceasta deoarece pentru $K_e =$ $=$ const., $\lambda =$ const. și $\Delta t =$ const., temperatura apei răcite în turn este dependentă, cu suficientă precizie, numai de valoarea lui τ_1, indiferent de perechile de valori θ_1 și φ_1 ce corespund valorii lui τ_1.

O ilustrare a acestui lucru este dată în figura 1, pentru un turn de răcire cu tiraj forțat.

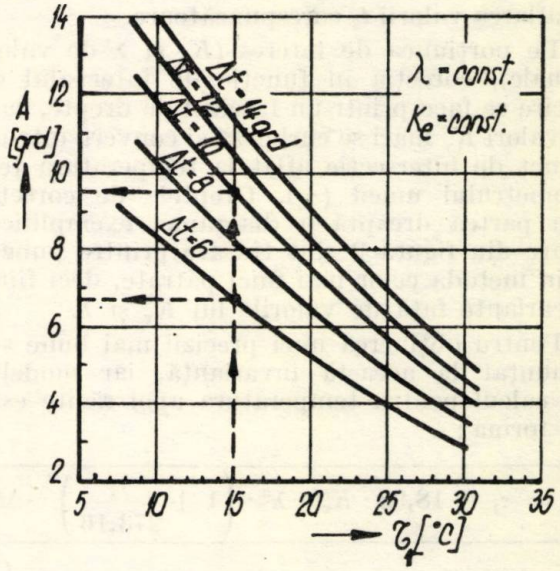


Fig. 1. Curbele apropierii, $A = t_2 - \tau_1$, în funcție de nivelul temperaturii aerului la termometrul umed (τ_1), la un turn de răcire cu tiraj forțat.

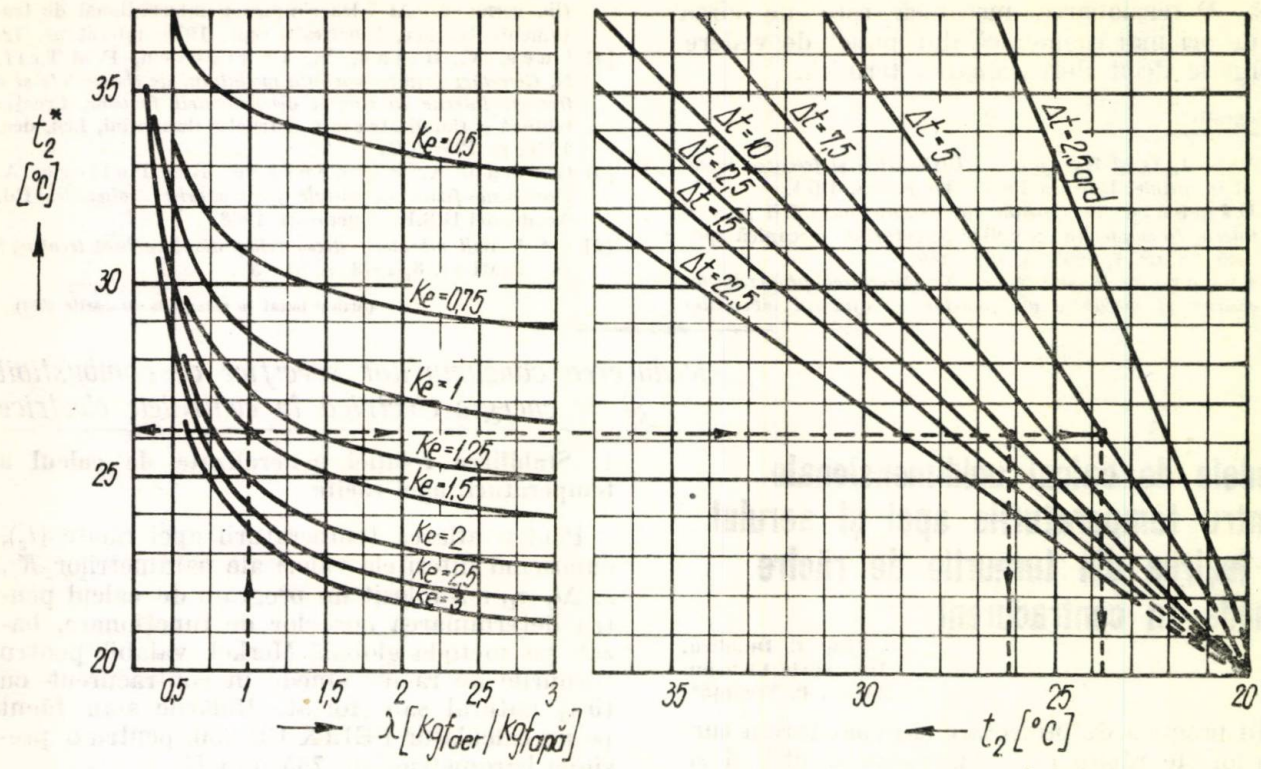


Fig. 2. Turn de răcire umed în contracurent. Determinarea temperaturii apei răcite cunoscînd multiplul de aer (λ), cifra Merkel (K_e) și intervalul de răcire (Δt).

Obs. Nomograma este valabilă pentru temperatura aerului ambiant la termometrul umed: $\tau_1 = 20°C$.

Datele obținute cu ajutorul calculatorului au fost așezate pe cîte o diagramă $t_2 = f(K_e, \lambda, \Delta t)$ pentru anumite condiții de ambianță sintetizate prin $\tau_1 = \text{const.}$ (fig. 2).

Partea din stînga a diagramei servește la determinarea temperaturii $t_2^* = f(K_e, \lambda)$ pentru $\Delta t = 10$ grd și pentru $\tau_1 = 20°C$, iar partea din dreapta servește la corectarea valorii t_2^*, pentru alt interval de răcire ($\Delta t \neq 10$ grd) și aflarea valorii t_2 corespunzătoare.

Pe porțiunea de interes (K_e și λ de valori uzuale), corecția în funcție de intervalul de răcire se face printr-un fascicol de drepte, care la valori K_e mari se curbează și converg într-un punct de intersecție aflat la temperatura termometrului umed (τ_1). Dreptele de corecție din partea dreaptă a diagramei exemplificatoare din figura 2 sînt trasate printre puncte prin metoda celor mai mici pătrate, deci fiind invariante față de valorile lui K_e și λ.

Pentru obținerea unei precizii mai bune s-a renunțat la această invarianță, iar modelul de calcul pentru temperatura apei răcite este de forma:

$$t_2 = \tau_1 + 18{,}98 \cdot K_e^m \cdot \lambda^n \cdot \left(1 + \frac{\tau_1}{273{,}16}\right)^p \cdot \Delta t^r \qquad (1)$$

unde: $m = f(K_e, \lambda, \tau_1)$; $n = f(\lambda, \tau_1)$; $p = f(\tau_1)$ și $r = f(K_e, \lambda, \Delta t, \tau_1)$ sînt funcții algebrice de variabilele indicate în parantezele respective.

Se observă că al doilea termen din membrul al doilea reprezintă apropierea temperaturii apei răcite de limita de răcire ($A = t_2 - \tau_1$).

Relația (1) este valabilă în următoarele domenii de variație a parametrilor:

$K_e = 0{,}5 - 2$ kgf/kgf; $\lambda = 0{,}3 - 3$ kgf/kgf;
$\Delta t = 2{,}5 - 15$ grd; $\tau_1 = 0 - 28°C$.

Eroarea absolută este de $-0{,}005$ grd, iar abaterea medie pătratică de $\pm 0{,}21$ grd.

Modificarea presiunii atmosferice cu $\pm$ 10 mmHg produce în general o modificare de aproximativ $\mp$ 2—4% a valorii K_e, iar temperatura apei răcite va fi afectată în consecință conform relației generale de calcul (1).

2. Determinarea temperaturii aerului la ieșirea din turnul de răcire

Cunoașterea acestei temperaturi este necesară în special la turnul de răcire cu tiraj natural, pentru determinarea forței ascensionale.

2.1. *Determinarea temperaturii aerului folosind teoria schimbătoarelor de căldură*

Plecînd de la ecuațiile care dau valoarea temperaturii agentului rece (aerul) la ieșirea din schimbător și ținînd seamă de coexistența schimbului de căldură și de substanță, cît și de capacitățile calorice diferite ale agenților, re-

zultă următoarele relaţii de calcul global:

$$\theta_2 = \theta_1 + (t_1 - \theta_1) \cdot \frac{4\mu}{\lambda} \cdot \frac{1 - e^{\frac{4\mu-\lambda}{4\lambda\mu} K_e}}{1 - \frac{4\mu}{\lambda} \cdot e^{\frac{4\mu-\lambda}{4\lambda\mu} K_e}} \quad (2)$$

sau

$$\theta_2 = t_1 - (t_1 - \theta_1) \cdot \frac{1 - \frac{4\mu}{\lambda}}{1 - \frac{4\mu}{\lambda} \cdot e^{\frac{4\mu-\lambda}{4\lambda\mu} K_e}} \quad (3)$$

unde μ reprezintă ponderea convecţiei în transferul de căldură global

$$\mu = \frac{Q_{conv}}{Q_{total}} \approx \frac{\lambda}{4 \cdot \Delta t} \cdot \Delta\theta \quad (4)$$

Se menţionează că relaţiile de calcul (2) şi (3) s-au obţinut considerînd valabilă analogia dintre schimbul de căldură (convecţie) şi schimbul de substanţă (evaporare), în condiţiile satisfacerii relaţiei lui Lewis ($\alpha = \sigma \cdot C_{paer}$).

Formulele de calcul deduse mai sus cu procedeele de la schimbătoarele de căldură prin suprafaţă, dar cu introducerea corecţiei μ şi a mărimilor fizice proprii turnurilor de răcire umede (cum sînt K_e şi λ), dau rezultate destul de exacte numai pentru intervale de răcire (Δt) mai mici de 5 grade şi presupun antecunoscută valoarea parametrului μ (determinat cu formula (4) în programul de calcul detaliat, amintit la paragraful 1). Pentru $\Delta t > 5$ grd, erorile introduse de formulele de calcul (2) şi (3) nu sînt admisibile, ele crescînd pe măsură ce valoarea lui Δt creşte.

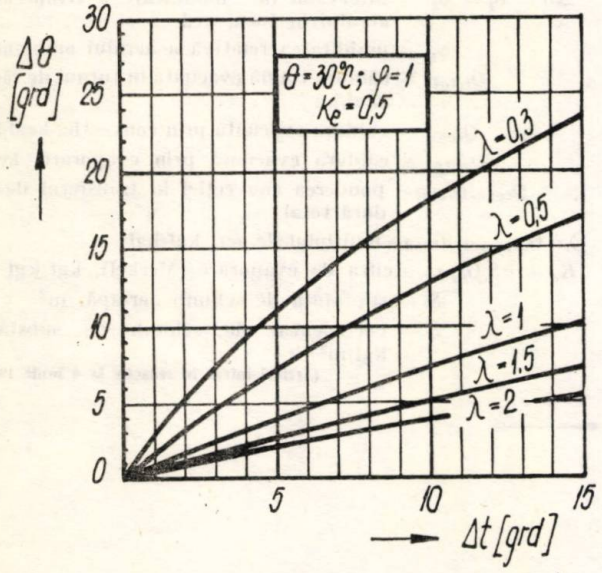


Fig. 3*a*. Variaţia temperaturii aerului la trecerea prin turn
$\theta = 30°C$; $\varphi = 1$; $K_e = 0{,}5$ kgf/kgf.

2.2. *Model de calcul algebric al temperaturii aerului*

În scopul evitării erorilor introduse de metoda prezentată mai sus, s-a dedus o relaţie de calcul plecînd de la valori ale temperaturilor aerului determinate cu un program de calcul global, bazat pe teoria turnurilor de răcire umede în contracurent, cu corecţie de temperatură a aerului după atingerea stării de saturaţie, în aşa fel ca procesul să urmărească curba de saturaţie.

Pentru exemplificare, în figurile 3*a* şi 3*b* se dau valori obţinute pentru $\Delta\theta$ în condiţii de aer ambiant saturat (fig. 3*a*) şi în condiţii de aer ambiant nesaturat ($\varphi = 0{,}4$) (fig. 3*b*).

Se observă că la valori mici ale intervalelor de căcire ($\Delta t < 5$ grd) aerul poate să se răcească la trecerea prin turn, dar numai în situaţia aerului ambiant nesaturat ($\varphi < 1$).

Relaţia de calcul obţinută este de forma:

$$\theta_2 = (\theta_1 + M \cdot \Delta t^N - P \cdot \Delta t^2 - R \cdot \Delta t - S) \cdot X \quad (5)$$

unde: $M = f(\lambda, \theta_1)$; $N = f(\lambda, \theta_1)$; $P = f(\lambda, \theta_1, \varphi_1)$; $R = f(\lambda, \theta_1, \varphi_1)$; $S = f(\lambda, \theta_1, \varphi_1)$ şi $X = f(K_e, \lambda, \theta_1, \varphi_1, \Delta t)$ sînt funcţii algebrice de variabilele indicate în parantezele respective.

Relaţia de calcul (5) este valabilă pe următoarele domenii de variaţie a parametrilor: $K_e = 0{,}5 - 2$ kgf/kgf; $\lambda = 0{,}3 - 2$ kgf/kgf; $\Delta t = 2 - 15$ grd; $\theta_1 = 0 - 35°C$ şi $\varphi_1 = 0{,}4 - 1$, eroarea absolută fiind de $+0{,}15$ grd, iar abaterea medie pătratică de $\pm$ 0,8 grd.

Pentru modificări nu prea mari ale presiunii atmosferice în plus şi în minus faţă de valoarea de 755 mm Hg, pentru care s-a determinat relaţia de calcul (5), se apreciază că valoarea temperaturii aerului la ieşirea din turn nu se va modifica sensibil.

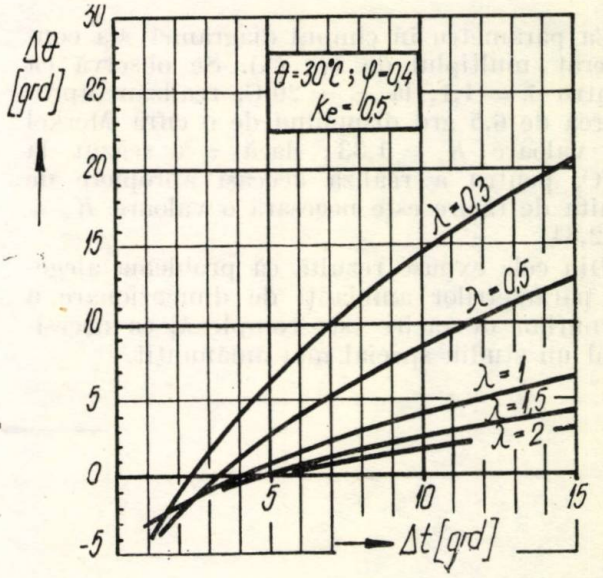


Fig. 3*b*. Variaţia temperaturii aerului la trecerea prin turn
$\theta = 30°C$; $\varphi = 0{,}4$; $K_e = 0{,}5$ kgf/kgf

3. Considerații privitoare la parametrii de ambianță la care se face calculul de dimensionare a turnului de răcire

La un turn de răcire dat, apropierea de limita de răcire pe care o realizează ($A = t_2 - \tau_1$) este dependentă de condițiile de ambianță (θ_1 și τ_1) pentru tirajul natural și numai de τ_1 la tirajul forțat (vezi fig. 1).

Problema care se pune este la ce valori ale parametrilor aerului ambiant să se facă dimensionarea turnului. Dacă presupunem că ne-am fixat asupra unei apropieri necesare de $A = 6{,}5$ grd și asupra unui interval de răcire de $\Delta t = 10$ grd, pe care le menținem constante, atunci cifra de evaporare (K_e) necesară va crește odată cu scăderea lui τ_1, conform figurii 4.

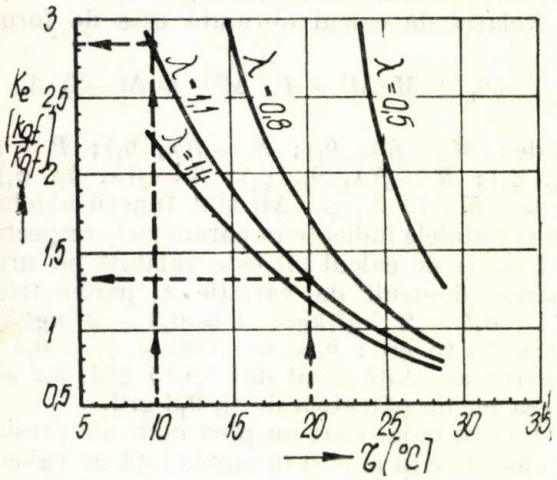


Fig. 4. Cifra de evaporare (K_e) necesară pentru menținerea constantă a apropierii (A) la valoarea de 6,5 grd, pentru un turn de răcire umed în contracurent avînd intervalul de răcire : $\Delta t = 10$ grd.

Ca parametru în cîmpul diagramei s-a considerat multiplul de aer (λ). Se observă că pentru $\lambda = 1{,}1$, la $\tau_1 = 20°C$, realizăm apropierea de 6,5 grd dispunînd de o cifră Merkel de valoare $K_e = 1{,}33$; dacă τ_1 a scăzut la 10°C, pentru a realiza aceeași apropiere de limita de răcire este necesară o valoare $K_e = 2{,}84$.

Din cele expuse rezultă că problema alegerii parametrilor ambianți de dimensionare a turnurilor de răcire este complexă, ea necesitînd un studiu special mai amănunțit.

Concluzii

Modelele de calcul prezentate în relațiile (1) și (5) sînt utile pentru evidențierea modului în care temperaturile apei și aerului la ieșire sînt afectate de variația fiecărui parametru în parte, facilitînd calculul tehnico-economic de determinare a variantei optime de turn de răcire, cît și trasarea curbelor de funcționare pentru varianta aleasă în proiectare sau pentru un turn de răcire aflat în exploatare.

În încheiere se remarcă un fapt care se poate evidenția în figura 2, și anume că o umplutură eficientă din punct de vedere termic (K_e mare) poate fi încărcată la intervale de răcire mult mai mari decît cele nominale ($\Delta t > \Delta t_{nom}$) fără ca temperatura apei răcite (t_2) să se modifice prea mult. Invers, cu cît valoarea cifrei de evaporare K_e este mai mică, cu atît dependența funcție de încărcarea termică este mai accentuată.

Se observă, de asemenea, influența mare pe care o au parametrii K_e și λ asupra temperaturii apei, în special în domeniul valorilor mici ale acestora.

Notații

t_1, t_2 — temperatura apei calde, respectiv răcite de turn, °C

t^*_2 — temperatura apei răcite de un turn de răcire avînd intervalul de răcire de 10 grade, °C

θ_1, θ_2 — temperatura aerului la termometrul uscat, la intrarea, respectiv ieșirea din turn, °C

τ_1 — temperatura aerului ambiant la termometrul umed, °C

$\Delta t = t_1 - t_2$ — intervalul de răcire a apei, grd

$A = t_2 - \tau_1$ — apropierea dintre temperatura apei răcite și limita teoretică de răcire prin evaporare, grd

$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$ — intervalul de modificare a temperaturii aerului în turn, grd

φ_1 — umiditatea relativă a aerului ambiant

Q_{total} — căldura totală evacuată în turnul de răcire, kcal/h ;

Q_{conv} — căldura evacuată prin convecție, kcal/h

Q_{evap} — căldura evacuată prin evaporare, kcal/h

$\mu = Q_{conv}/Q_{total}$ — ponderea convecției în transferul de căldură total

$\lambda = G_{aer\ uscat}/G_{apă}$ — multiplul de aer, kgf/kgf

$K_e = \sigma S/G_{apă}$ — cifra de evaporare (Merkel), kgf/kgf

S — suprafața de schimb aer-apă, m²

σ — coeficientul de schimb de substanță, kgf/m² · h

(Articol intrat în redacție la 4 iunie 1981)

Filtrarea electromagnetică a apei de alimentare a cazanelor de abur*)

Ing. Mariana Zabunov **)

1. Considerații generale

Procedeul de filtrare electromagnetică a apei, care constă în reținerea oxizilor de Fe magnetici în suspensie pe o suprafață metalică asupra căreia acționează un cîmp magnetic, s-a studiat din necesitatea găsirii unor soluții mai economice de tratare a apei de alimentare a cazanelor, în ceea ce privește consumurile specifice de reactivi de regenerare și de combustibil.

Îndepărtarea produselor de coroziune feromagnetice din circuitul apă-abur al unui cazan este deosebit de importantă pentru buna funcționare a acestuia. În condițiile existenței produșilor de coroziune în apa de alimentare, la cazanele cu presiune ridicată, aceștia se depun pe pereții țevilor în zonele cu circulație redusă, provocînd, datorită suprasolicitării termice, spargeri de țevi.

Pînă în prezent procedeele cel mai des folosite au constat din filtre mecanice cu bujii urmate de filtre cu schimbători de ioni în pat mixt, sau filtre echipate cu masă ionică puternic acidă, care joacă rol și de filtru mecanic, urmate de filtre cu pat mixt.

Experiența a dovedit că atît filtrele cu bujii, cît și filtrele H-cationice prezintă incoveniente în exploatare, în sensul că primele trebuie înlocuite des, datorită colmatării (acest fapt avînd implicații asupra costului tratării condensatului), iar cea de-a doua categorie de asemenea se colmatează datorită oxizilor de Fe, operația de curățire fiind suficient de dificilă (se procedează la spălarea masei cationice cu un acid mineral concentrat).

Dat fiind faptul că în circuitul apă-abur al unui cazan majoritatea impurităților în suspensie o constituie oxizii metalici feromagnetici, este preferat un procedeu magnetic de tratare a apei de alimentare a cazanelor, care prezintă avantaje atît din punct de vedere al consumului de energie, cît și al cheltuielilor de exploatare față de procedeele de filtrare mecanică a apei de alimentare utilizate pînă în prezent.

Totodată trebuie menționat că tratarea condensatului pe filtre electromagnetice este inclusă în schema tipizată de către ISPE de tratare a condensatului și care este de forma FEM—H—P.M.

*) Comunicare prezentată la sesiunea tehnico-științifică a ICEMENERG: „Contribuții la dezvoltarea energeticii românești", București, 26—28 iunie 1980.

**) Ing. Mariana Zabunov lucrează la ICEMENERG.

2. Experimentări de laborator și în fază industrială

În ICEMENERG s-au efectuat, în urmă cu cinci ani, primele încercări pentru stabilirea eficacității filtrării electromagnetice și a factorilor ce intervin în acest proces. În acest scop a fost realizată o instalație de laborator cu principalele date constructive: Q de tratare = = 400 l/h, înălțimea bobinei de filtrare 195 mm, cîmpul magnetic maxim 2150 Oe $(1{,}7 \cdot 10^5\ A)_m$, material filtrant bile de rulment Ø = 6,3 mm, protejate împotriva coroziunii prin cadmiere.

Încercările efectuate cu instalația descrisă au permis stabilirea parametrilor optimi de lucru și a influenței diferiților factori ce intervin în acest proces fizic de deferizare.

Rezultatele experimentărilor sus-menționate au scos în evidență următoarele:

— gradul de deferizare este invers proporțional cu viteza de filtrare;

— randamentul de reținere al oxizilor de Fe depinde foarte mult de intensitatea cîmpului magnetic (H), și anume crește cu cît valoarea H este mai mare;

— eficacitatea procedeului de filtrare electromagnetică este direct proporțională cu raportul dintre oxizii de fier magnetici și oxizii metalici nemagnetici.

În continuare, date fiind rezultatele bune obținute în faza de laborator, s-a trecut la proiectarea și construirea unui FEM pilot cu debit de 10—12 m³/h. Aparatul a fost montat la CET a Institutului politehnic București pentru a fi testat în condiții reale de exploatare. De notat că centrala termică a IPB este echipată cu un cazan secțional cu debitul de apă de alimentare de 12 t/h și o turbină de 2 MW.

În figura 1 este reprezentată schema de montaj a FEM în circuitul termic al CET-IPB.

2.1. *Performanțele FEM pilot realizat de ICEMENERG la tratarea apei de alimentare a cazanelor de abur*

2.1.1. *FEM — Descriere.* Figura 1 reprezintă FEM pilot montat în circuitul apă-abur al CET — IPB, după preîncălzitoarele de joasă presiune, înainte de intrarea în degazor, iar figura 2 — o secțiune transversală prin FEM.

FEM se compune dintr-un cilindru austenitic (nemagnetic) cu diametrul exterior Ø = 199 mm, în interiorul căruia se află material de umplutură constituit din bile de oțel cu Ø = = 6,3 mm.

Bilele de oţel, care au rolul de suprafaţă filtrantă şi de a concentra liniile de forţă, se sprijină pe un grătar format din inele concentrice, astfel încît rezistenţa opusă la trecerea apei să fie cît mai mică.

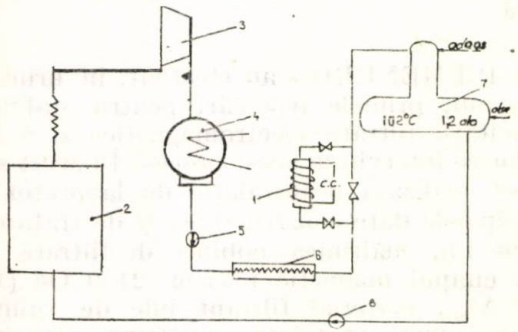
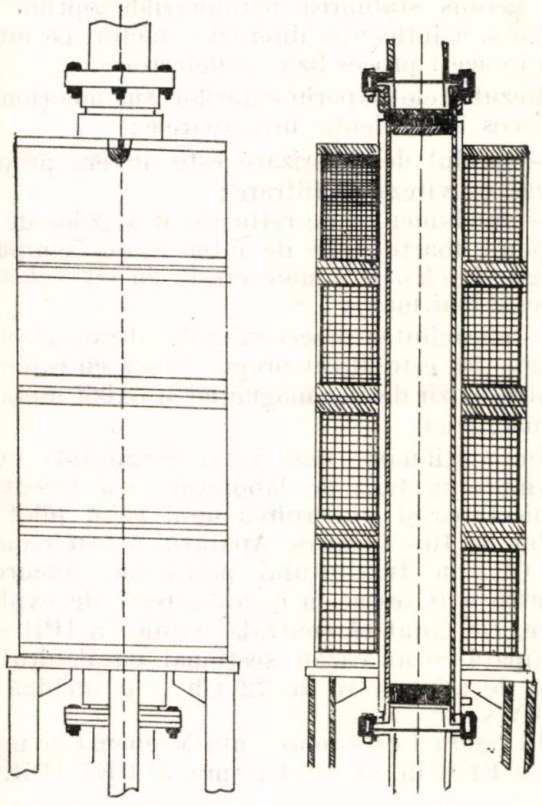


Fig. 1. Schema de amplasare a filtrului electromagnetic pilot
1 — filtru electromagnetic; *2* — cazan; *3* — turbină; *4* — condensator; *5* — pompă condensat; *6* — preîncălzitoare; *7* — degazor; *8* — pompă alimentare.



a) *b)*

Fig. 2. Filtru electromagnetic pilot
a — vedere din faţă; *b* — secţiune transversală.

Cîmpul magnetic este creat de patru bobine plasate pe cilindrul principal, alimentate în paralel cu curent continuu de la un redresor cu seleniu.

Pentru răcirea bobinelor, cilindrul principal este prevăzut cu o manta de răcire confecţionată din oţel austenitic.

Înălţimea stratului de filtrare este de 1000 mm.

2.1.2. *FEM pilot — parametrii de funcţionare*

— Permite tratarea unui debit maxim de 12 m³/h, corespunzător unei viteze de 0,3 m/s, deci, aşa cum este montat la CET-IPB, poate trata întreg debitul de condensat.

— Intensitatea cîmpului magnetic 1200 Oe.

— Tensiunea de alimentare $U = 30$ V, curent continuu de la un redresor cu seleniu.

— Intensitatea curentului 70 A (17,5 A pe bobină).

2.1.3. *Modul de funcţionare şi regenerare a FEM.* Fluidul de tratat străbate filtrul de jos în sus şi la trecerea prin cîmpul magnetic creat de bobine oxizii de Fe, şi în special cei feromagnetici, sînt reţinuţi pe suprafaţa bilelor de oţel.

Cînd Δp pe filtru creşte peste o anumită valoare (în mod normal fiind $\approx$ 1,5 ata), FEM se scoate din funcţiune, pentru a fi regenerat. Operaţia de regenerare a filtrului — de îndepărtare a oxizilor de Fe reţinuţi pe bile — constă din următoarele faze :

a) Demagnetizarea bilelor, care se obţine prin scoaterea de sub tensiune a bobinelor.

Prin această operaţie, aproximativ 50% din magnetita reţinută pe filtru se desprinde.

Demagnetizarea nefiind completă, prin simpla scoatere de sub tensiune a bilelor (magnetismul remanent determinat experimental a fost de 100 Oe) şi care face imposibilă curăţirea perfectă a bilelor, pentru scurt timp (1—2 s), bobinele s-au cuplat la o sursă de curent alternativ.

b) Spălarea cu apă sub presiune şi aer comprimat de 5—7 ata, cu evacuare la canal, concomitent cu legarea pentru scurt timp la o sursă de curent alternativ.

c) Recuplarea bobinelor la sursa de curent continuu şi punerea în funcţiune a filtrului.

Toată operaţia de regenerare a FEM durează în jur de 1 min.

2.2. *Experimentări în faza industrială a procedeului de filtrare electromagnetică*

Instalaţia-pilot descrisă mai înainte a fost montată la CET-IPB şi testată pe o durată de circa 7 luni, urmărindu-se gradul de reţinere a oxizilor de Fe funcţie de o serie de parametri, şi anume : viteza de filtrare, intensitatea cîmpului magnetic, temperatura de lucru, concentraţia oxizilor de Fe din apa de alimentare.

S-a studiat de asemenea gradul de deferizare în perioada de pornire a cazanului.

Diagramele 3, 4, 5 reprezintă rezultatele acestor încercări.

În figura 3 se poate vedea dependenţa randamentului de filtrare de intensitatea cîmpului magnetic, respectiv U şi I la bornele bobinelor.

Aşa cum era de aşteptat, realizarea unui cîmp magnetic cît mai intens are ca efect un randament maxim de reţinere a Fe în suspensie pe FEM.

Valorile maxime ale gradului de deferizare pentru parametrii maximi de funcţionare ai FEM, respectiv $I = 15$ A/bobină; $U = 34$ V, $H = 900$ Oe, sînt de 80%, valori care s-ar putea

îmbunătăţi prin crearea unui cîmp magnetic mai intens.

În ceea ce priveşte dependenţa dintre viteza de trecere a apei prin filtru şi randamentul de filtrare, în figura 4 se poate observa tendinţa

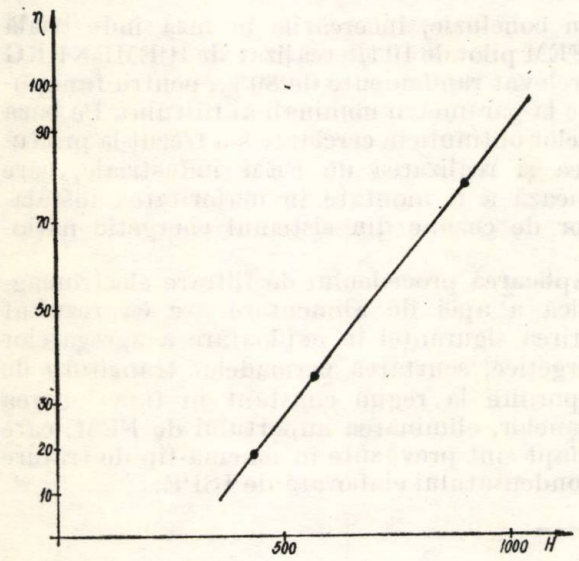


Fig. 3. Dependenţa randamentului de filtrare de intensitatea cîmpului magnetic.

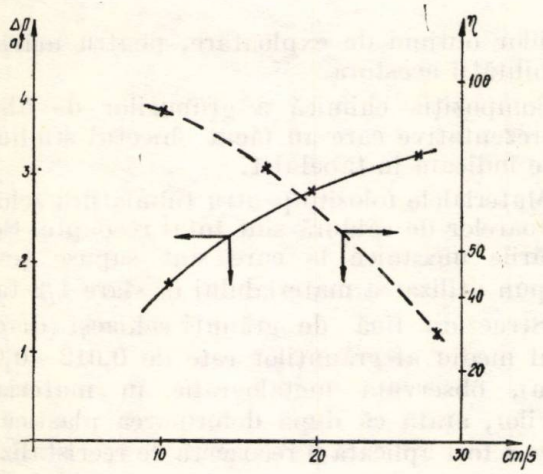


Fig. 4. Corelaţia dintre viteza de filtrare, Δp, şi randamentul de filtrare.

de scădere a gradului de deferizare odată cu creşterea vitezei de filtrare, pentru parametrii U şi I constanţi.

Locul de racordare a instalaţiei de filtrare electromagnetică în circuitul apă-abur al unui cazan are importanţă asupra gradului de reţinere a oxizilor de Fe, şi anume în zona temperaturilor înalte, mai precis peste 150°C, unde raportul oxizi magnetici/oxizi nemagnetici este aproape de 1, randamentul de reţinere al FEM este superior celui pentru raporturi sub 1 dintre magnetită şi oxizii de Fe nemagnetici.

În acest sens s-a cercetat randamentul de reţinere al FEM în perioada de pornire a cazanului de la temperatura de 35°C pînă la aproximativ 70°C.

În figura 5 este redată curba randament de reţinere — concentraţie Fe în condensat — timp, care este o imagine a funcţionării FEM de la

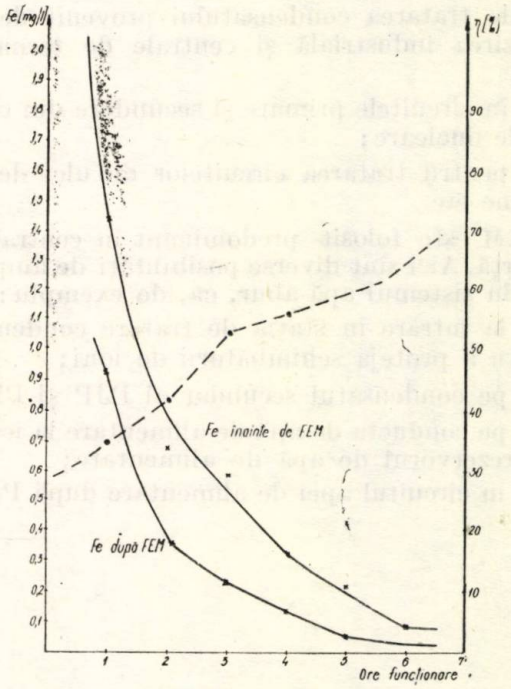


Fig. 5. Curbe de funcţionare a filtrului electromagnetic la pornire.

pornirea cazanului şi pînă aproape de regimul normal de funcţionare. De remarcat este creşterea randamentului odată cu creşterea temperaturii condensatului.

2.2.1. *Ciclul de lucru al FEM.* FEM se consideră epuizat şi se scoate din funcţiune în momentul cînd Δp pe filtru creşte mult peste valoarea Δp de la punerea în funcţiune a FEM, sau cînd randamentul de filtrare scade.

În urma experimentărilor s-a determinat durata de lucru a FEM în două perioade de funcţionare, şi anume:

— funcţionare în regim normal, care nu a inclus o perioadă de pornire, durata de lucru pînă la epuizare fiind de $\simeq$ 2000 ore, respectiv cantitatea de Fe_3O_4 reţinută a fost de $\simeq 2$ g/kg de bile;

— funcţionarea FEM, cu includerea unei perioade de pornire, şi în acest caz durata de lucru a fost de 170 ore, timp în care filtrul a reţinut cca. 150 g oxizi de fier.

3. Stadiul actual pe plan mondial al procedeului de filtrare electromagnetică a apei şi posibilităţi de utilizare şi amplasare a FEM în circuitul termic al cazanelor de abur

În R.F.G., firma KWU construieşte FEM de serie de diverse tipuri pentru debite pînă la 1000 m^3/h, precum şi FEM de execuţii speciale tip EMFS.

Posibilităţile de utilizare a FEM sînt multiple, şi anume:

— pentru tratarea condensatului şi apei de alimentare în sistemul termic al termocentralelor;

— la tratarea condensatului provenit de la încălzirea industrială şi centrale de termoficare;

— în circuitele primare şi secundare din centralele nucleare;

— pentru tratarea circuitelor de ulei de la turbine etc.,

FEM este folosit predominant în centralele de forţă. Aici sînt diverse posibilităţi de amplasare în sistemul apă-abur, ca, de exemplu:

— la intrare în staţia de tratare condensat pentru a proteja schimbătorii de ioni;

— pe condensatul secundar al PJP şi PIP;

— pe conducta de apă de alimentare la ieşire din rezervorul de apă de alimentare;

— în circuitul apei de alimentare după PJP.

Eficacitatea maximă de reţinere a oxizilor de Fe în perioadele de pornire a turboagregatelor se obţine prin amplasarea FEM la intrarea în cazan, unde temperatura apei este de 170°C şi unde tot Fe este sub formă de magnetită.

În concluzie, încercările în fază industrială cu FEM pilot de 10 t/h realizat de ICEMENERG au relevat randamente de 80%, pentru funcţionare la parametrii nominali ai filtrului. Pe baza datelor obţinute în cercetare s-a trecut la proiectarea şi realizarea de FEM industriale, care urmează a fi montate în majoritatea instalaţiilor de cazane din sistemul energetic naţional.

Aplicarea procedeului de filtrare electromagnetică a apei de alimentare are ca rezultat mărirea siguranţei în exploatare a agregatelor energetice, scurtarea perioadelor tranzitorii de la pornire la regim constant în funcţionarea cazanelor, eliminarea importului de FEM, care de fapt sînt prevăzute în schema-tip de tratare a condensatului elaborată de ISPE.

Cercetări privind stabilirea valorilor-limită ale indicilor chimici în circuitele de răcire din centralele termoelectrice

Chim. **Alice-Anca Cocoş**
şi Dr. ing. **Simona Zamfir***)

În scopul unei utilizări raţionale a materialelor metalice în condiţii diferite, funcţie de natura şi starea structurală a acestora, au fost întreprinse cercetări privind comportarea la coroziune a alamelor tip CuZn-36.

Tema se impune ca urmare a existenţei în ţara noastră a numeroase instalaţii energetice care folosesc tubulatură din alama respectivă şi pentru care siguranţa în funcţionare depinde de alegerea corectă a materialului din punctul de vedere al stării şi structurii acestuia, de respectarea condiţiilor de exploatare a materialelor metalice, în aşa fel încît ele să fie capabile să reziste eforturilor în funcţionare şi condiţiilor de coroziune care apar.

Cercetările efectuate asupra ţevilor de alamă CuZn-36 (STAS 95/1975), fără sau cu adaosuri de staniu şi arsen, fabricată în ţara noastră, indicată pentru ţevi de condensatoare şi răcitoare, au avut drept scop determinarea condiţiilor optime de exploatare, pentru mărirea fiabilităţii acestora.

Compoziţia chimică a grupurilor de aliaje reprezentative care au făcut obiectul studiului este indicată în tabelul 1.

Materialele folosite pentru tubulatura schimbătoarelor de căldură sînt total recoapte. Solicitările mecanice la care sînt supuse ţevile impun utilizarea materialului în stare 1/2 tare.

Structura fină de grăunţi echiacşi (diametrul mediu al grăunţilor este de 0,012—0,015 mm), observată metalografic în materialul ţevilor, arată că după deformarea plastică la rece a fost aplicată o recoacere de recristalizare (fig. 1).

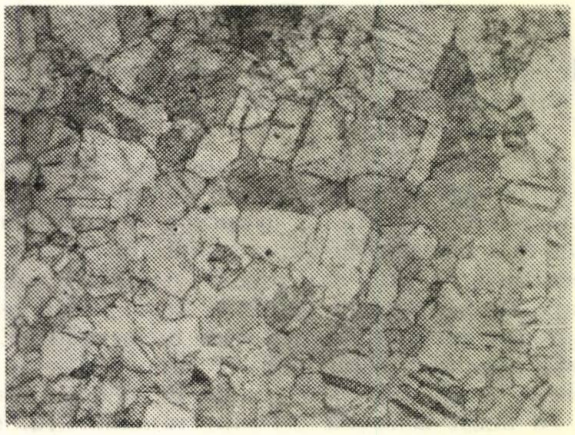


Fig. 1.

*) Chim. Alice-Anca Cocoş este cercetător ştiinţific la ICEMENERG; dr. ing. Simona Zamfir este şef de lucrări la Institutul politehnic Bucureşti.

Tabelul 1

Compoziția chimică a alamelor testate

Nr. lot	Zn	Pb	Fe	Mn	Al	Sn	As	P	Cu
	%								
1	37,65	0,01	0,03	0,01	0,01	—	0,01	0,01	rest
2	37,6	0,01	0,03	0,01	0,01	0,07	0,01	0,01	rest
3	37,5	0,02	0,17	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	rest
4	38,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	rest
5	37,6	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	rest
6	36,3	0,05	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	rest
7	38,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	rest
8	37,5	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	rest
9	36,4	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	0,04	0,01	rest
10	37,6	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	rest
11	36,3	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	rest
12	37,65	0,03	0,04	0,01	0,01	0,07	0,04	0,01	rest

În vederea stabilirii gradului de agresivitate al unor compuși chimici din apa de răcire a acestor țevi (cloruri, p*H*, duritate temporară, duritate totală, suspensii), în scopul elaborării valorilor-limită admisibile ale indicilor chimici din apa de răcire, s-a realizat în ICEMENERG un stand experimental pilot pentru reproducerea condițiilor de exploatare a țevilor de alamă din schimbătoarele de căldură.

Instalația-pilot, cu debit de 3 m^3/h, a fost alcătuită din :

— două schimbătoare de căldură experimentale compartimentate, cu țevi de alamă demontabile de 100 cm lungime, de diametre diferite, cu posibilități de legare în serie sau în paralel;

— rezervoare de plastic pentru soluții;

— pompe de circulație a soluțiilor prin țevi;

— termometre și debitmetre;

— viteza de circulație a apei de răcire a fost de ~ 1,8 m/s.

Durata unui test de coroziune — înțelegînd prin aceasta testarea unei calități de alamă în condițiile agresivității unui compus chimic de o anumită concentrație din apa de răcire — a fost în medie de 1500 ore de funcționare continuă, iar temperatura apei de 35—40°C.

În aceste condiții s-a urmărit comportarea alamei românești Am 63 (CuZn-36, STAS-95/75) la concentrații diferite ale următorilor compuși din apa de răcire: p*H*, conținutul de cloruri, conținutul de suspensii, duritatea temporară, conținutul de sulfați.

Criteriile de interpretare a rezultatelor experimentărilor au fost :

— apariția depunerilor și valoarea-limită;

— apariția coroziunilor și valoarea-limită;

— evoluția gradului de mărire a depunerilor și coroziunilor prin mărirea progresivă a concentrației substanțelor urmărite.

În seria de experimentări prin care s-a urmărit acțiunea unui anumit compus chimic din cei cinci de mai sus, în apa de răcire, ceilalți compuși au fost menținuți la valori reduse, în scopul evitării interferențelor. În continuare, la stabilirea celorlalte limite, pentru fiecare, din compușii chimici testați s-a lucrat în același mod.

Fig. 2 (250 : 1)

Sistemele în care au fost realizate experimentările din stația-pilot au reprezentat combinații ale celor patru compuși urmăriți din apa de răcire, după cum reiese din tabelul 2.

În continuare sînt discutați succint indicii de calitate realizați în apa de răcire a circuitului, în soluțiile experimentale, notate de la *A* la *N*, scopul urmărit în fiecare și interpretarea rezultatelor.

Soluția A — apă cu duritate carbonatică mare (8,5 mval), sensibil egală cu duritatea totală a apei (8,7 mval/l).

Întrucît indicele Langellier este orientativ, singura posibilitate de apreciere a comportamentului acestei ape în contact cu peretele metalic cald al țevii a fost formarea depunerilor aderente. La terminarea duratei testului, depunerea formată, aderentă la peretele țevii și continuă reprezenta un film cu grosimea de 0,15—0,2 mm. S-au recoltat 2—3 tronsoane din fiecare țeavă testată. S-a constatat că depunerile continue din interior au avut efect de catozi, iar suprafețele mici, neacoperite,

Tabelul 2

Compoziția fizico-chimică a apelor de răcire din experimentările pilot

Caracteristica	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*	*I*	*J*	*K*	*L*	*M*
p*H*	8,5	8,0	8–8,5	8,4	8,5	8,0	8,5	9,5	8,0	9–9,5	5,5	8,5	7–7,5
Alcalinitate *p*, mval/l	0,05	0	0,05	0,05	0,05	0	0,05–0,1	0,8	0	0,2	–	0,55	0
Alcalinitate *m*, mval/l	10,5	1,1	3,8	2,1	3,0	1,1	0,3	1,3	2,8	–	–	1,15	1,0
Duritate totală/carbonatică, mval/l	8,7/ 8,5	12,4/ 1,1	3,2/ 3,2	2,3/ 2,1	2,4/ 2,4	0,1/ 0,1	$\frac{2p-m=0,1}{3,0}$	$\frac{2p-m=0,3}{3,3}$	0,1/ 0,1	–	–	$\frac{2p-m=0}{1,1/1,0}$	1,0/ 1,0
Sulfați, mval/l	2,7	12,7	4,5	1,2	2,4	1,2	4,7	3,5	0,8	–	–	–	0,3
Cloruri, mval/mg/l	2,2/ 78,1	0,9/ 32,0	3,8/ 135	0,3/ 10,7	1,4/ 49,7	8,4/ 300	8,4/ 300	8,4/ 300	0,5/ 24,8	–	–	0,4/ 14,2	0,3/ 10,7
Suspensii, mg/l	12,0	67,2	24,8	200	100	12,0	43,5	85,0	2,0	–	–	4,0	2,8
Silice totală, mg/l	6,8	10,0	9,0	9,2	7,5	6,8	11,2	13,5	–	$\frac{\text{Conductivitate}}{4,7\ \mu\text{S/cm}\ 3,5}$		3,0	3,0

rezultate prin întreruperea accidentală a filmului depus, au devenit anozi.

Astfel se explică fenomenul de pitting semnalat în cazul acestor țevi, cu adîncimea de atac de 0,03 mm (fig. 2).

Depunerile au generat, cum era și de așteptat, un fenomen de dezincare mai pronunțat, cu o adîncime de atac de 0,09 mm (fig. 3*a* și 3*b*).

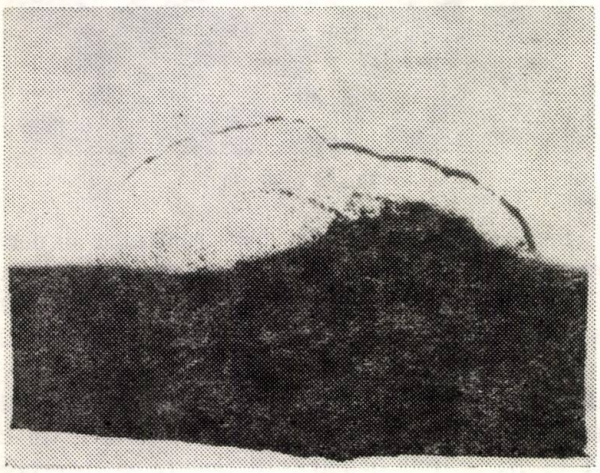


Fig. 3*a* (250 : 1)

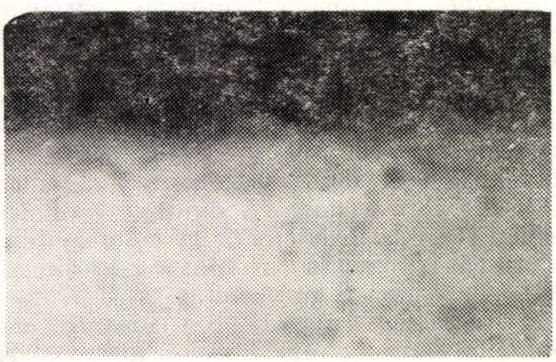


Fig. 3*b* (250 : 1)

Cele două adîncimi de atac se traduc printr-o micșorare a grosimii peretelui țevii anual, de 0,13, respectiv 0,4 mm/an. Acestea corespund unei viteze de coroziune de 0,12–1,2 g/m²/h [1]. Rezultă că valoarea testată pentru duritatea temporară în cazul testului *A*, prin grosimea depunerii formate, reducerea coeficientului de transmisie a căldurii la perete și prin intensitatea fenomenelor de coroziune generate este inadmisibilă pentru apa dintr-un circuit de răcire.

Soluția B — apă de răcire experimentală cu duritate totală de 12,4 mval/l, din care numai 1,1 mval/l duritate carbonatică. Macroscopic, la terminarea experimentării, țevile au prezentat interior depuneri reduse cantitativ și răzleț repartizate. La examenul microscopic metalografic al mai multor tronsoane din aceste țevi, s-a constatat că marginile depunerilor localizate au devenit anozi, generînd forme de pitting cu adîncimea de atac de 0,018–0,024 mm; pierderea în grosime anual a peretelui țevii se estimează la 0,08–0,1 mm/an, ceea ce reprezintă o viteză de coroziune mică, tolerabilă, de 0,012–0,12 g/m²/h.

Pentru a defini o condiție-limită a concentrației de sulfați din apa unui circuit de răcire, trebuie amintite în prealabil următoarele:

— concentrația totală de ioni SO_4^{2-} din apă nu este determinantă, în apă aceștia putînd exista și sub formă de Na_2SO_4, cu solubilitate foarte mare;

— în prezența ionilor de SO_4^{2-} în exces, solubilitatea sulfatului de calciu este ușor modificată, și de la 50°C în sus scade foarte mult.

Din considerentele de mai sus putem defini ca limită admisibilă pentru duritatea permanentă din apa de răcire: sub 10 mval/l (și nu ca limită de sulfați totali în apă).

Soluția C — apă de răcire cu duritate totală egală cu duritatea temporară, 3,2 mval/l. Înaintea acestui test s-a experimentat orientativ, într-un circuit micropilot, o apă de răcire cu duritate totală sub cea experimentală în setul *A* de încercări, și anume : $D_{total} = D_{tempor.} = 4{,}5$ mval/l. Depunerea din interior, ca și adîncimea pittingului format sub aceasta au relevat ca inadmisibilă această valoare a durității, pentru apa unui circuit de răcire.

Astfel, pentru stabilirea limitei de duritate carbonatică în apa de răcire, în cadrul următorului test (soluția *C*), valoarea durității carbonatice a fost aleasă în domeniul — 3,2—3,0 mval/l. S-au constatat :

— depuneri nesemnificative, localizate în puncte, reduse cantitativ ;

— lipsa oricăror forme de coroziune.

Cum însă soluția testată este greu de găsit practic, apa din circuitele de răcire avînd și alți factori chimici răspunzători de formarea depunerilor, care acționează sinergic — suspensii p*H* critic etc. —, pentru mai mare siguranță în exploatare limita de duritate carbonatică va fi situată sub 2,5 mval/l în apa circuitului de răcire.

Soluția D — apă de răcire neincrustantă, cu duritate carbonatică sub valoarea maxim admisă conform testului *C*, îmbogățită artificial în suspensii, pînă la valoarea de 200 mg/l.

La terminarea testului s-au constatat depuneri clasice numite „în potcoavă", generate de un conținut sporit de suspensii în apa de răcire. Sub depuneri s-au semnalat două tipuri de coroziune :

— fenomene slabe de eroziune, produse prin abraziunea mecanică a peretelui metalic de către suspensii, la viteza de circulație realizată de 1,5—2 m/s ;

— fenomene de pitting. Adîncimea de atac înregistrată în cazul ambelor forme de coroziune este de 0,024—0,03 mm, care corespunde la o micșorare anuală a peretelui țevii de 0,11—0,14 mm/an și la o viteză de coroziune de 0,012—0,12 g/m²/h.

Din punctul de vedere al vitezei de coroziune, valoarea este considerată accesibilă : conținutul de 200 mg/l de suspensii testat nu poate fi acceptat într-o apă de răcire din punctul de vedere al depunerilor formate, care, în timp și în condițiile unei purjări deficitare a circuitului de răcire, poate crește periculos de mult.

Soluția E a urmărit comportarea, față de țevile schimbătoare de căldură, a unei ape de răcire cu cantitatea de suspensii micșorată la 100 mg/l ; restul compușilor chimici din apă au fost menținuți la valori subcritice. Duritatea carbonatică a apei a fost aleasă sub limita tolerată. În acest caz depunerile formate au fost reduse cantitativ, fiind de tip punctiform. Metalografic s-a constatat prezența unui slab fenomen de coroziune localizată, pitting, cu adîncime de atac maxim de 0,03 mm, corespunzînd la o micșorare anuală a peretelui țevii de 0,14 mm/an și la o pierdere în greutate de 0,012—0,12 g/m²/h.

Existența, în apa de răcire, a unei cantități mari de suspensii conduce iminent la formarea unor depuneri aderente, de tipul „în potcoavă" sau punctiforme. Sub depuneri evoluează fenomene de coroziune-eroziune, apariția de concavități și fenomene de pitting (fig. 2, 3*a* și 3*b*). Pentru evitarea formării depunerilor și reducerea la minimum a coroziunilor generate de acestea, condiția de limită care se impune pentru conținutul de suspensii în apa circuitului de răcire este de 50—100 mg/l.

Următoarele trei seturi de experimentări au urmărit stabilirea valorii-limită pentru conținutul de cloruri din apa de răcire. Pentru stabilirea valorii maxim admise s-a urmărit acțiunea clorurilor în trei condiții diferite de calitate pentru apa de răcire, cele mai des întîlnite în practică :

— apă dedurizată ;

— apă pretratată, filtrată mecanic și cu p*H* corectat la 8,5 ;

— apă pretratată, asemănătoare cu apa la ieșirea din decantoarele industriale.

Soluția F — apă dedurizată, îmbogățită artificial, prin adaos de NaCl, în cloruri pînă la 300 mg/l. Peretele interior al țevii, la terminarea testului, era acoperit cu un strat protector brun, punctat pe alocuri de depuneri localizate, aderente, alcătuite din produși de coroziune de

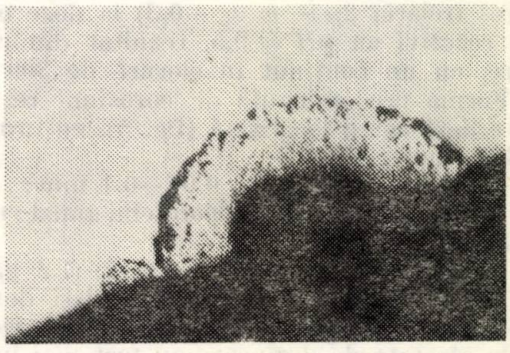


Fig. 4 (250 : 1)

culoare albă (în principal din $ZnCl_2$). Fenomenele de coroziune produse în acest caz sînt de tipul pitting și dezincare localizată, cu adîncimi de atac de 0,12—0,15 mm ; micșorarea grosimii peretelui țevii estimată anual este de 0,5—0,69 mm, corespunzînd la o pierdere în greutate de 0,12—1,2 g/m²/h. Valorile se înscriu încă în domeniul de tolerabilitate al vitezei de coroziune, dar la limita superioară a acestuia.

Soluția G — apă de suprafață pretratată cu var și sulfat feros în doze optime (conform relației $2p - m = -0{,}1$), filtrată mecanic și cu

p*H* corectat cu acid sulfuric la 8,5. Conținutul de cloruri a fost ridicat la 300 mg/l. Starea metalografică a țevii la terminarea testului de coroziune a fost destul de apropiată de cea a țevii din testul anterior. Deosebirea constă în

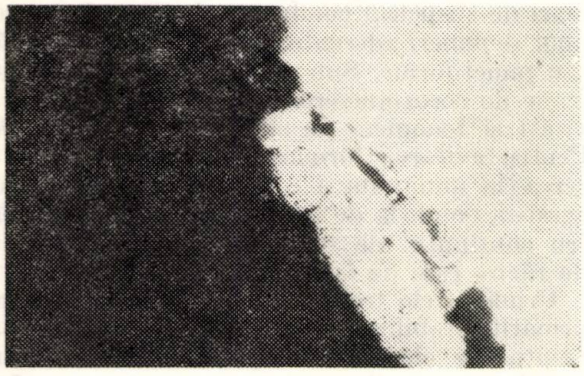


Fig. 5 (250 : 1)

aceea că suprafața metalului era acoperită de un strat foarte fin ca grosime, cenușiu-roșcat, alcătuit din sulfați și carbonați de fier, întrerupt pe alocuri de mici depuneri aderente, provenite din produșii de coroziune ($ZnCl_2$). Coroziunea a fost în acest caz de două tipuri : pitting și dezincare punctiformă, ca și în cazul precedent, având același conținut de cloruri (fig. 2, 4). Adîncimea de atac măsurată a fost de 0,12—0,15 mm, corespunzînd la o pierdere în greutate estimată la 0,12—1,2 g/m²/h. Valorile sînt complet similare cu cele înregistrate în textul anterior.

Soluția H — apă pretratată cu var și sulfat feros (relația $2p - m = +0,3$) la doze optime de reactivi cu p*H* = 9,5, rezultat din pretratare, cu un conținut în cloruri de 300 mg/l.

Forma predominantă de coroziune rezultată este dezincarea localizată (fig. 5), cu următoarele caracteristici :

— adîncime de atac : 0,04—0,1 mm ;

— micșorarea grosimii peretelui anual : 0,18—0,46 mm/an ;

— pierderea în greutate : 0,12—1,2 g/m²/h.

Aceste valori se înscriu în același domeniu cu valorile înregistrate anterior ; ca arie, zonele afectate de dezincare au fost mai întinse.

Din ultimele trei teste experimentale descrise — F, G, H —, ale căror rezultate sînt apropiate, se desprinde concluzia :

— concentrația de 300 mg/l cloruri în apa de răcire pentru țevi din alamă nealiată, indiferent de calitatea apei de răcire, se traduce printr-o viteză de coroziune înscrisă în ultimul domeniu considerat ca admisibil — 0,12—1,2 g/m²/h — dar spre limita superioară a acestuia.

Putem considera ca limită maxim admisă a conținutului de cloruri din apa unui circuit de răcire valoarea de 300 mg/l.

S-a urmărit în continuare comportarea țevilor de alamă în condiții de apă dedurizată și demineralizată.

Soluția I — apă dedurizată, cu conținut redus de cloruri.

Forma de coroziune generată la țevile de alamă de acest tip de apă a fost pittingul de intensitate foarte redusă. Adîncimea de atac măsurată metalografic atinge max. 0,012 mm/an, reprezentînd o pierdere în greutate de 0,012 g/m²/h.

Soluția J — apă demineralizată, cu un p*H* alcalinizat cu amoniac, pînă la valoarea de 9,0. Alama a prezentat, pe majoritatea suprafeței interioare, un strat protector brun-cenușiu aproape continuu. Din loc în loc s-au semnalat pittinguri, cu adîncimi de atac foarte reduse (max. 0,012 mm). Coroziunea apărută în acest caz, prin adîncimea de atac — deloc îngrijorătoare —, este totuși neobișnuită pentru cunoscuta comportare a alamei în contact cu apa demineralizată cu p*H* alcalin. Pittingul este explicabil în acest caz prin insuficienta degazare a apei (greu de realizat în condițiile standului-pilot realizat), știut fiind faptul că prezența cuplului amoniac-oxigen este defavorabilă alamei [2], [3], [5].

Soluția K — apă demineralizată, cu p*H* ușor acid, 5,5—6,0.

Starea metalografică a țevii la terminarea testului de coroziune a relevat următoarele :

— forma de coroziune apărută este pittingul ;

— adîncimea de atac : 0,012—0,016 mm ;

— micșorarea anuală a grosimii peretelui : 0,055—0,08 mm ;

— pierderea în greutate : 0,012—0,12 g/m²/h.

Rezultatele acestor ultime trei teste de coroziune, coroborate cu întreaga plajă de variație a p*H* din restul experimentărilor, duc la delimitarea domeniului optim de p*H* din apa unui circuit de răcire la 7,0—8,5.

Concluzii

Fără a epuiza totalitatea variantelor experimentale posibile, rezultatele acestor teste experimentale în fază pilot au permis stabilirea unor valori-limită orientative ale principalilor parametri fizico-chimici din apa unui circuit de răcire, în scopul evitării depunerilor și coroziunilor pe țevile schimbătoare de căldură din alamă (condensatoare, răcitoare auxiliare etc.).

Valorile indicilor chimici pentru circuitele de răcire, rezultate din experimentările prezentate, s-au încadrat în limitele stabilite prin normativele în vigoare din alte țări (VGB-1975, AFNOR etc.).

Valorile rezultate sînt :

— duritate carbonatică : max. 2,5 mval/l

— duritate permanentă : max. 10 mval/l

(fără a depăși limita de cloruri)

— suspensii : 50—100 mg/l

— cloruri : max. 300 mg/l

— p*H* : min. 7,0— max. 8,5

Întrucît :

— fiecare tip de apă brută pentru alimentarea circuitelor de răcire este un complex greu de reprodus în laborator ;

— la confecționarea țevilor de condensatoare și răcitoare se utilizează curent alame speciale, cu adaosuri de staniu sau arseniu, pentru minimalizarea fenomenelor de coroziune posibile, prin formarea peliculelor superficiale aderente, a fost necesară confirmarea ulterioară, la scară industrială, a valorilor-limită rezultate din aceste experimentări, în mai multe centrale electrice.

Valorile-limită admisibile pentru parametrii fizico-chimici din apa circuitelor de răcire a condensatoarelor și răcitoarelor cu țevi de alamă vor fi definitivate după această verificare industrială de durată (de circa 1 an).

Bibliografie

[1] Akimov, G. V. *Théorie et méthodes d'éssai de la corrosion des métaux*. Ed. Fllamarion, 1957.

[2] Effertz, P. H., Fichte, W. și Forchammer, P. *Kühlwasserseitige Korrosion an Kondensatoren und Kühlern in Kraftwerken*. În : VGB Kraftwerkstechnik, 54, nr. 2, 1974, p. 82.

[3] Gîdea, S. și Protopopescu, M. *Aliaje neferoase*. Editura tehnică, București, 1965.

[4] Reynolds, S. D. și Pement, F. W. *Corrosion failures of tubing in power station auxiliary heat exchangers*. În : Mater. Perform., sept. 1974, p. 21—28.

[5] Uhling, H. H. *Korrosion und Korrosionschutz — Kupfer und Kupferlegierung*. Ed. J. Wiley & Sons, Londra, 1963, p. 332.

[6] Zamfir, S. și Cocoș, A. A. *Considerații privind fiabilitatea tubulaturii de alamă folosită la instalațiile energetice*. În : Energetica, nr. 5, 1979, p. 192—197.

[7] * * * *Studiu privind stabilirea valorilor-limită ale indicilor chimici în circuitele de răcire ale CTE din MEE*. ICEMENERG — I. P. București, 1979.

(Articol intrat în redacție la 21 ianuarie 1981)

Scurtcircuite nesimetrice în rețelele de medie tensiune cu neutrul legat la pămînt prin rezistență

Ing. **Alex. Tănăsescu** și ing. **Horia Măriș***)

1. Generalități

Stabilirea modului de tratare a neutrului rețelelor de medie tensiune constituie una dintre problemele de concepție dificile, datorită numărului mare de factori ce trebuie luați în considerare.

Pe plan mondial se constată o tendință evidentă de opțiune pentru sistemul cu neutrul legat la pămînt prin rezistență, avantajele acestui sistem fiind citate pe larg în literatura de specialitate [2], [3].

Extinderea rețelelor subterane de distribuție urbană a generat o creștere accentuată a curenților capacitivi în aceste rețele și a condus la necesitatea adoptării și în țara noastră a sistemului de legare la pămînt a neutrului prin rezistență.

Studiul scurtcircuitelor nesimetrice se efectuează prin metoda componentelor simetrice [1], analizîndu-se atît curenții de scurtcircuit, cît și supratensiunile ce pot să apară pe fazele sănătoase, într-un punct oarecare al rețelei, în timpul unui defect la pămînt.

În literatura de specialitate [2], [4] este examinată influența diferiților parametri ai rețelei, asupra curenților și tensiunilor la locul defectului.

În articolul de față se analizează influența simultană pe care o au asupra curenților și tensiunilor la locul defectului următorii parametri : reactanța de secvență directă, rezistența și reactanța de secvență homopolară, rezistența de legare la pămînt a neutrului, rezistența de trecere la locul defectului.

2. Formule de calcul

Se presupune că unui circuit trifazat simetric i se aplică, la unul din capete, un sistem simetric de tensiuni, deci circuitul poate fi caracterizat prin impedanțele echivalente de secvență directă $\bar{Z}_1$, inversă $\bar{Z}_2$ și homopolară $\bar{Z}_0$. Rezistența de legare la pămînt a neutrului are valoarea R (Ω), iar rezistența de trecere la locul defectului valoarea r (Ω).

În cazul în care scurtcircuitul monofazat afectează faza R (fig. 1), rezultă schema de calcul echivalentă reprezentată în figura 2.

Valoarea curentului de scurtcircuit monofazat rezultă din relația :

$$\bar{I}_R^{(1)} = \frac{3\bar{E}_R}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_0 + 3R + 3r} \qquad (1)$$

iar valorile tensiunilor pe fazele sănătoase rezultă din :

$$\bar{U}_S^{(1)} = -\frac{\sqrt{3}\bar{E}_R}{2} \cdot \frac{[\sqrt{3}(\bar{Z}_0 + 3R + r) + j(2\bar{Z}_2 + \bar{Z}_0 + 3R + 3r)]}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_0 + 3R + 3r} \qquad (2)$$

*) Autorii lucrează în cadrul Centralei industriale de rețele electrice.

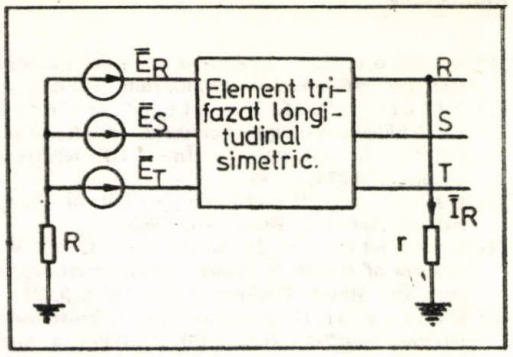


Fig. 1

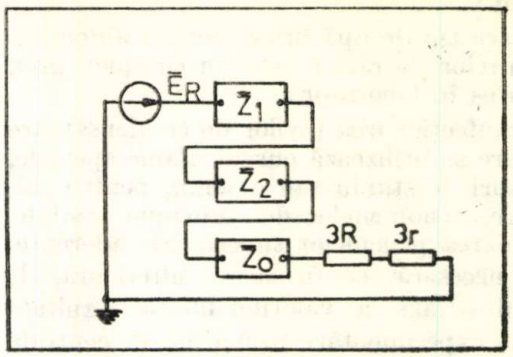


Fig. 2

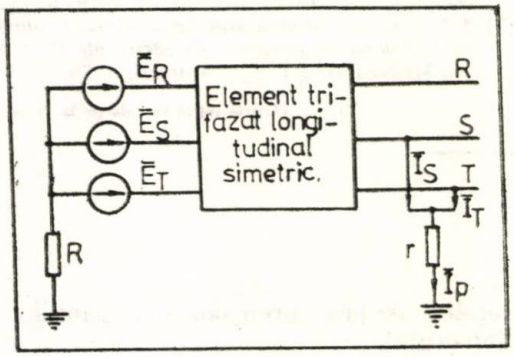


Fig. 3

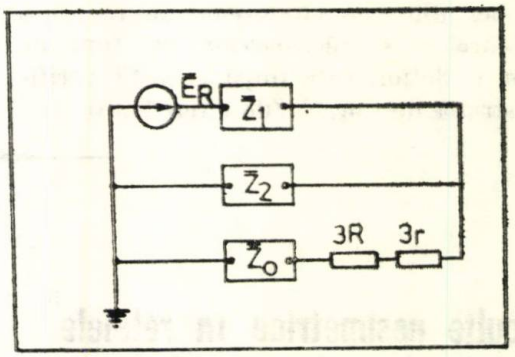


Fig. 4

$$\bar{U}_T^{(1)} = -\frac{\sqrt{3}\bar{E}_R}{2} \cdot$$

$$\cdot \frac{[\sqrt{3}(\bar{Z}_0 + 3R + r) - j(2\bar{Z}_2 + \bar{Z}_0 + 3R + 3r)]}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_0 + 3R + 3r} \tag{3}$$

În cazul în care scurtcircuitul bifazat la pămînt afectează fazele S și T (fig. 3), rezultă schema echivalentă de calcul reprezentată în figura 4.

Expresiile pentru curenții de scurtcircuit sînt:

$$\bar{I}_S^{(1,1)} = -\frac{\sqrt{3}\bar{E}_R}{2} \cdot$$

$$\cdot \frac{[\sqrt{3}\bar{Z}_2 + j(\bar{Z}_2 + 2\bar{Z}_0 + 6R + 6r)]}{[\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)(\bar{Z}_0 + 3R + 3r) + \bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2} \tag{4}$$

$$\bar{I}_T^{(1,1)} = -\frac{\sqrt{3}\bar{E}_R}{2} \cdot$$

$$\cdot \frac{[\sqrt{3}\bar{Z}_2 - j(\bar{Z}_2 + 2\bar{Z}_0 + 6R + 6r)]}{(\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)(\bar{Z}_0 + 3R + 3r) + \bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2} \tag{5}$$

$$\bar{I}_P^{(1,1)} = -3\bar{E}_R \frac{\bar{Z}_2}{(\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)(\bar{Z}_0 + 3R + 3r) + \bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2} \tag{6}$$

iar tensiunea pe faza sănătoasă este dată de relația:

$$\bar{U}_R^{(1,1)} = 3\bar{E}_R \frac{\bar{Z}_2(\bar{Z}_0 + 3R + 2r)}{(\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)(\bar{Z}_0 + 3R + 3r) + \bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2} \tag{7}$$

3. Factorul de defect la pămînt

Conform PE 109/80, „Normativ privind alegerea izolației, coordonarea izolației și protecția instalațiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor" [7], factorul de defect la pămînt într-un punct al unei rețele electrice trifazate, pentru o configurație dată de funcționare a rețelei, este raportul dintre cea mai mare valoare efectivă a tensiunii între o fază sănătoasă și pămînt în timpul unui defect la pămînt (pe una sau mai multe faze într-un punct oarecare al rețelei) și valoarea efectivă a tensiunii de frecvență industrială între fază și pămînt care s-ar obține în același loc în absența defectului.

Factorii de defect la pămînt se calculează funcție de impedanțele rețelei în sistemul de componente simetrice, utilizînd pentru mașinile electrice rotative valorile reactanțelor subtranzitorii.

Dacă factorul de defect îndeplinește condiția

$$K \leqslant 1{,}4, \tag{8}$$

rețeaua este denumită „rețea cu neutrul efectiv legat la pămînt" în acel loc, iar dacă

$$K \geqslant 1{,}4 \tag{9}$$

rețeaua este denumită „rețea cu neutrul legat neefectiv la pământ" în acel loc.

3.1. În cazul scurtcircuitului monofazat se pot adopta următoarele ipoteze simplificatoare:

— neglijînd rezistențele impedanțelor de secvență directă și inversă, rezultă:

$$\bar{Z}_1 = jX_1;\ \bar{Z}_2 = jX_2 \tag{10}$$

— pentru regimul subtranzitoriu se admite:

$$X_1 \cong X_2 \tag{11}$$

Raportînd toți parametrii la reactanța directă, se fac următoarele notații:

$$x = \frac{R_0}{X_1};\quad y = \frac{X_0}{X_1};\quad z = \frac{R}{X_1};\quad w = \frac{r}{X_1} \tag{12}$$

În condițiile de mai sus, factorii de defect la pământ pentru fazele sănătoase rezultă din relațiile (2) și (3); deci:

$$K_S = \frac{\sqrt{3}}{2}\left|\frac{[\sqrt{3}(x+3z+w)-y-2]+j(\sqrt{3}y+x+3z+3w)}{(x+3z+3w)+j(y+2)}\right| \tag{13}$$

$$K_T = \frac{\sqrt{3}}{2}\left|\frac{[\sqrt{3}(x+3z+w)+y+2]+j(\sqrt{3}y-x-3z-3w)}{(x+3z+3w)+(j(y+2)}\right| \tag{14}$$

Asociind anumite valori parametrilor x; y; z; w, factorii de defect la pământ K_S și K_T rezultă cu valori bine determinate și, pe de altă parte, asociind anumite valori parametrilor z și w, rezultă anumite valori x și y care satisfac condițiile limită:

$$K_S = K \text{ și } K_T = K \tag{15}$$

Locul geometric al punctelor din planul $x - y$ care satisfac condiția $K_S = K$, ($K \neq \sqrt{3}$, z și w fiind parametri) este un cerc cu centrul în coordonatele (x_0, y_0) și cu raza R:

$$x_0 = \frac{1}{2}\frac{3w(2K^2-3)+3\sqrt{3}}{3-K^2} - 3z$$

$$y_0 = \frac{1}{2}\frac{4K^2-3(1+\sqrt{3}w)}{3-K^2} \tag{16}$$

$$R = \frac{3K\sqrt{1+w^2}}{|3-K^2|}$$

iar din condiția $K_S = K = \sqrt{3}$ rezultă ecuația dreptei:

$$-(1+\sqrt{3}w)x - (\sqrt{3}-w)y = 2\sqrt{3}w^2 + 3\sqrt{3}zw + 3z + w + \sqrt{3} \tag{17}$$

Locul geometric al punctelor din planul $x - y$ care satisfac condiția $K_T = K (K \neq \sqrt{3})$ este un cerc cu centrul în coordonatele (x_0', y_0') și cu raza R':

$$x_0' = \frac{1}{2}\frac{3w(2K^2-3)-3\sqrt{3}}{3-K^2} - 3z$$

$$y_0' = \frac{1}{2}\frac{4K^2-3(1-\sqrt{3}w)}{3-K^2} \tag{18}$$

$$R' = \frac{3K\sqrt{1+w^2}}{|3-K^2|}$$

iar din condiția $K_T = K = \sqrt{3}$ rezultă ecuația dreptei:

$$(1-\sqrt{3}w)x - (\sqrt{3}+w)y = 2\sqrt{3}w^2 + 3\sqrt{3}zw - 3z - w + \sqrt{3} \tag{19}$$

Se poate demonstra că, pentru anumite valori date z și w, punctele din planul $x - y$ care îndeplinesc condiția $K_S < K$ (respectiv $K_T < K$) se găsesc în interiorul circumferinței cercului definit de condiția $K_S = K$ (respectiv $K_T = K$) dacă $K < \sqrt{3}$, sau în exteriorul circumferinței dacă $K > \sqrt{3}$.

Punctele din planul $x - y$ care satisfac simultan condițiile

$$K_S \leqslant K \text{ și } K_T \leqslant K \tag{20}$$

sînt cele simultan interioare celor două circumferințe dacă $K < \sqrt{3}$, sau cele simultan exterioare circumferințelor dacă $K > \sqrt{3}$ (zona hașurată din figura 5 pentru cazul uzual luat în considerare, $K < \sqrt{3}$).

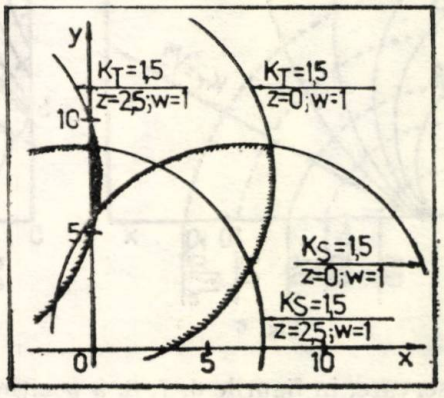


Fig. 5

Coordonatele punctelor de intersecție ale celor două cercuri (pentru $K < \sqrt{3}$, $x > 0$,

$y > 0$) sînt definite de relaţiile :

$$x = 3w \frac{(2K^2 - 3) + \sqrt{4K^2 - 3}}{2(3 - K^2)} - 3z \quad (21)$$

$$y = \frac{(4K^2 - 3) + 3\sqrt{4K^2 - 3}}{2(3 - K^2)}$$

Din cele expuse mai sus rezultă faptul că pentru anumite valori z şi w, modul de legare la pămînt a neutrului (efectiv sau neefectiv), deci şi valorile supratensiunilor pe fazele sănătoase, se asociază cu un anumit domeniu de variaţie al rezistenţei şi reactanţei de secvenţă homopolară.

În figurile 6, 7 şi 8 sînt reprezentate curbele limită pentru $w = 0$ şi trei valori ale lui z (0—2,5—5) în planul caracteristic pentru reţele cu neutrul legat la pămînt prin rezistenţă ($x > 0$, $y > 0$). Nu s-au făcut reprezentări pentru valori $x > 0$; $y < 0$, deoarece acestea corespund, în general, numai reţelelor cu neutrul izolat, la care impedanţa homopolară este e natură capacitivă.

Din examinarea acestor figuri se constată faptul că, pentru un anumit punct cu coordonatele x, y — deci pentru anumite valori ale rezistenţei şi reactanţei de secvenţă homopolară raportate la reactanţa de secvenţă directă — creşterea valorii lui z — deci a rezistenţei de legare la pămînt a neutrului raportată la reactanţa de secvenţă directă — conduce implicit şi la supratensionarea fazelor sănătoase. Simpla observare, în figurile 6, 7, 8, a poziţiei dreptei caracterizate prin $K_T = \sqrt{3}$ oferă un criteriu de apreciere a influenţei exercitate de creşterea lui z asupra creşterii factorului de defect la pămînt.

Curbele limită pentru $w = 1$ şi trei valori ale lui z (0—2,5—5) sînt reprezentate în figurile 9, 10 şi 11.

Analiza acestor figuri conduce la una dintre constatările amintite şi la figurile 6, 7, 8, şi anume că, prin creşterea valorii lui z, cresc supratensiunile fazelor sănătoase pentru aceleaşi valori ale lui x şi y.

Din compararea figurilor 6, 7, 8, pe de o parte, cu figurile 9, 10, 11, pe de altă parte, rezultă influenţa „pozitivă" exercitată de creşterea valorii lui w asupra factorului de defect la pămînt. Acest lucru se manifestă prin mărirea suprafeţei mărginite de curba-limită K, în planul $x - y$, în situaţia cu $w = 1$, comparativ cu situaţia în care $w = 0$.

De exemplu : pentru $x = 5$; $y = 10$; $z = 2{,}5$; $w = 0$ (fig. 7) rezultă $K = 1{,}7$, iar pentru $x = 5$; $y = 10$; $z = 2{,}5$; $w = 1$ (fig. 10) rezultă $k = 1{,}56$.

În particular, pentru $z = 0$ (fig. 6 şi 9), situaţie caracteristică reţelelor cu neutrul legat direct la pămînt, se verifică condiţia impusă de normativul PE 109 : „dacă pentru toate schemele de exploatare posibile, valoarea reactanţei homopolare este mai mică decît triplul valorii reactanţei directe şi dacă valoarea rezistenţei homopolare nu depăşeşte valoarea reactanţei directe, valoarea factorului de defect la pămînt nu depăşeşte 1,4".

Se face remarca, menţionată şi în [4], că valorile $x < 1$; $y < 3$, impuse reţelelor cu neutrul efectiv legat la pămînt, sînt prea restrictive în cazul scurtcircuitelor monofazate prin rezistenţă de trecere la locul de defect.

3.2. În cazul scurtcircuitului bifazat la pămînt, cu notaţiile (12), din expresia (7) rezultă

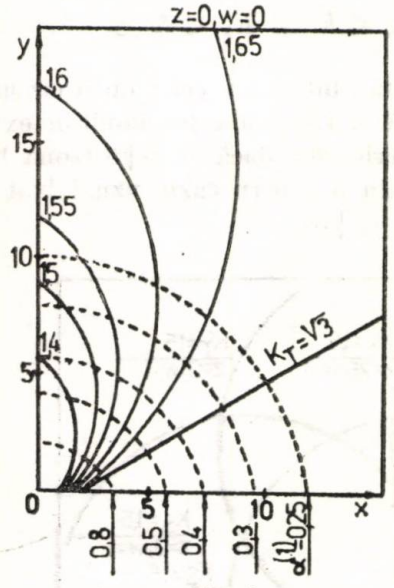


Fig. 6

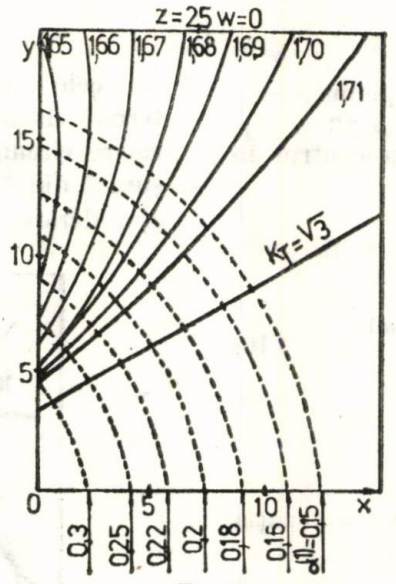


Fig. 7

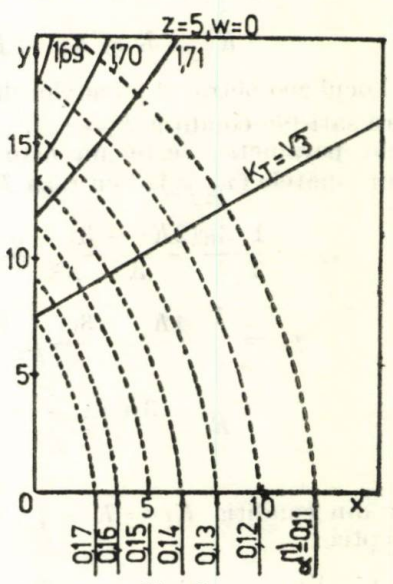


Fig. 8

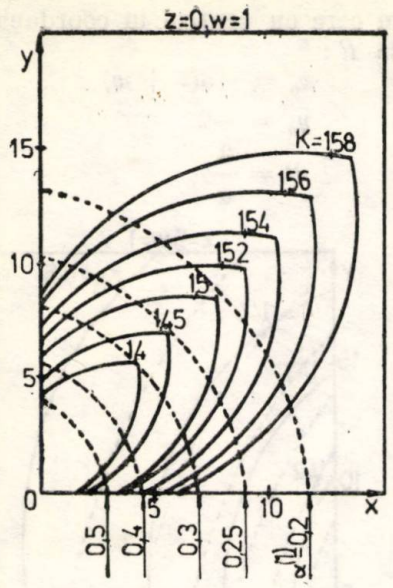


Fig. 9

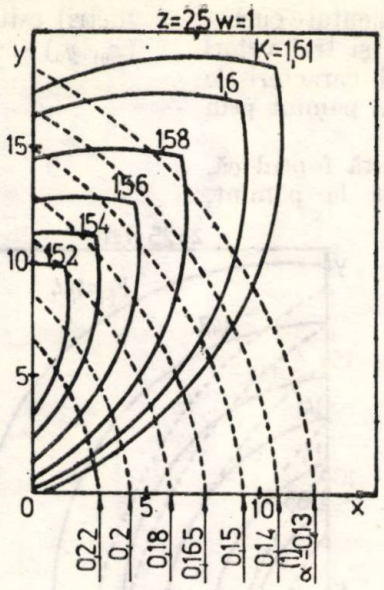


Fig. 10

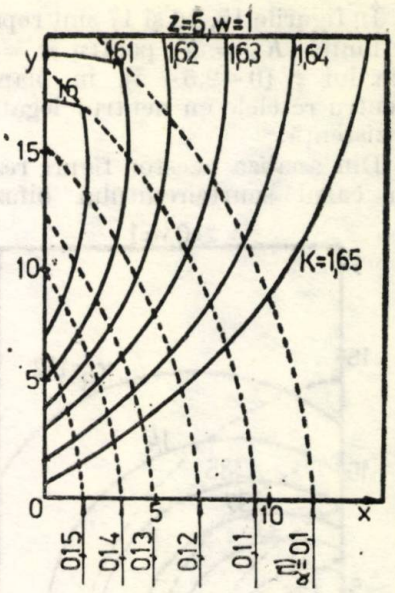


Fig. 11

valoarea pentru factorul de defect la pământ:

$$K_R = 3\left|\frac{(x + 3z + 2w) + jy}{2(x + 3z + 3w) + j(2y + 1)}\right| \quad (22)$$

Locul geometric al punctelor din planul $x - y$ care satisfac condiția $K_R = K (K \neq 1{,}5$, z și w fiind parametri) este un cerc cu centrul în coordonatele (x_0, y_0) și cu raza R:

$$x_0 = \frac{6w(2K^2 - 3)}{9 - 4K^2} - 3z$$

$$y_0 = \frac{2K^2}{9 - 4K^2} \quad (23)$$

$$R = \frac{3K\sqrt{4w^2 + 1}}{|9 - 4K^2|}$$

iar din condiția $K_R = K = 1{,}5$ rezultă ecuația dreptei:

$$8xw + 4y + 20w^2 + 24zw + 1 = 0 \quad (24)$$

Similar cu cazul scurtcircuitului monofazat, se poate demonstra că, pentru anumite valori date z și w, punctele din planul $x - y$ care îndeplinesc condiția $K_R < K$ se găsesc în interiorul circumferinței cercului definit de condiția $K_R = K$ dacă $K < 1{,}5$, sau în exteriorul circumferinței cercului dacă $K > 1{,}5$.

Dependența factorului de defect la pământ, în cazul scurtcircuitelor bifazate la pământ, funcție de anumite valori ale lui z (0—2,5—5) și considerînd scurtcircuitul metalic net ($w = 0$), este ilustrată în figurile 12, 13 și 14.

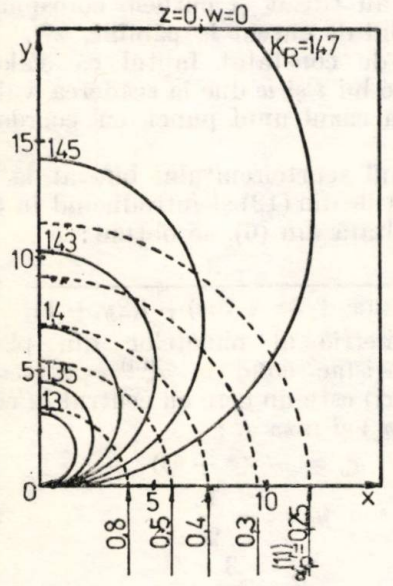


Fig. 12

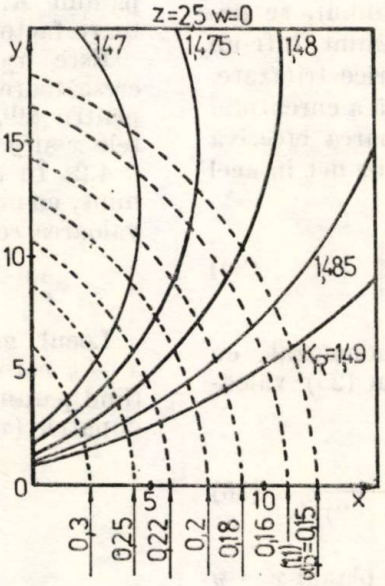


Fig. 13

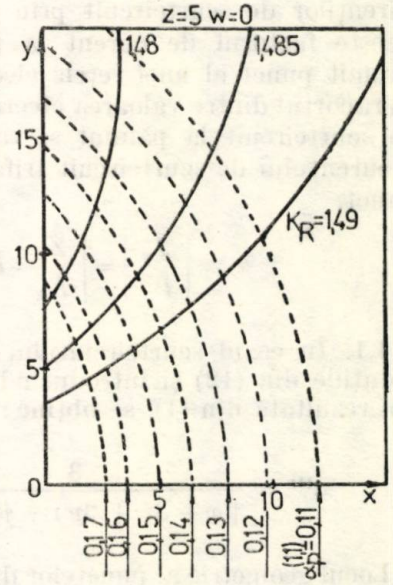


Fig. 14

În figurile 15, 16 și 17 sînt reprezentate curbele-limită $K_R = K$, pentru $w = 1$ și trei valori ale lui z (0—2,5—5), în planul caracteristic pentru rețelele cu neutrul legat la pămînt prin rezistență.

Din analiza acestor figuri rezultă faptul că, în cazul scurtcircuitului bifazat la pămînt,

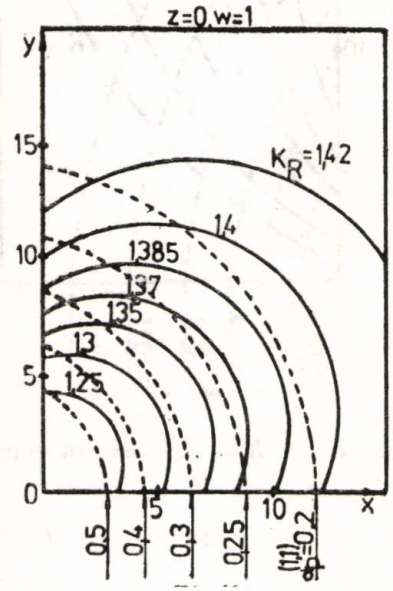


Fig. 15

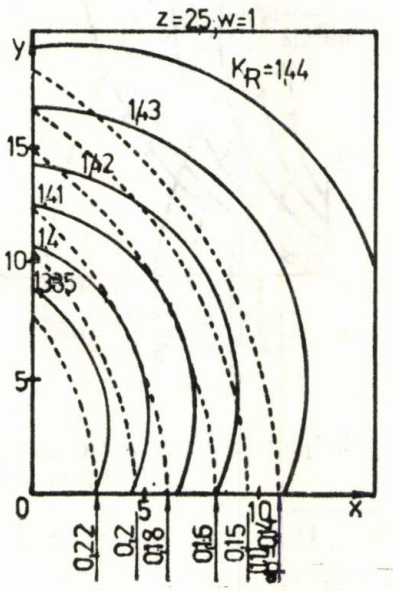


Fig. 16

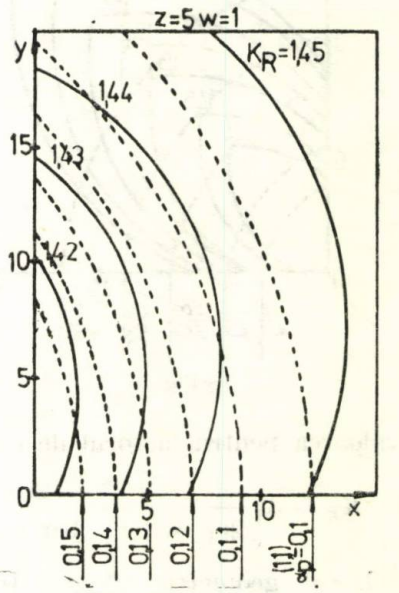


Fig. 17

odată cu creșterea valorii lui z, crește valoarea factorului de defect la pămînt pentru anumite valori date x; y; w și că, odată cu creșterea valorii lui w, scade valoarea factorului de defect la pămînt pentru anumite valori date x; y; z.

4. Factorul de curent la pămînt

În literatura de specialitate [4], pentru a se studia influența parametrilor rețelei asupra curenților de scurtcircuit prin pămînt, se definește factorul de curent la pămînt într-un anumit punct al unei rețele electrice trifazate, ca raportul dintre valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit la pămînt și valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit trifazat net în acel punct.

$$\alpha = \left| \frac{\bar{I}_p}{\bar{I}^{(3)}} \right| = \left| \frac{\bar{Z}_1}{\bar{E}_R} \cdot \bar{I}_p \right| \qquad (25)$$

4.1. În cazul scurtcircuitului monofazat, cu notațiile din (12) și introducînd în (25) valoarea rezultată din (1), se obține:

$$\alpha^{(1)} = \frac{3}{|(x + 3z + 3w) + j(y + 2)|} \qquad (26)$$

Locul geometric al punctelor din planul $x - y$ care satisfac condiția $\alpha^{(1)} = \alpha$ (z și w fiind parametri) este un cerc cu centrul în coordonatele (x_0, y_0) și raza R:

$$x_0 = -3(z + w)$$
$$y_0 = -2 \qquad (27)$$
$$R = \frac{3}{\alpha}$$

Asociind anumite valori parametrilor x; y; z; w, factorul de curent la pămînt $\alpha^{(1)}$ rezultă cu o valoare bine determinată.

Pentru anumite valori date z și w, punctele din planul $x - y$ care îndeplinesc condiția $\alpha^{(1)} < \alpha$ se găsesc în exteriorul circumferinței cercului definit de condiția $\alpha^{(1)} = \alpha$, iar punctele care îndeplinesc condiția $\alpha^{(1)} > \alpha$ se găsesc în interiorul cercului respectiv.

În figurile 6—11, concomitent cu curbele limită corespunzătoare factorului de defect la pămînt K, s-au trasat și curbele corespunzătoare factorului de curent la pămînt, $\alpha^{(1)}$.

Este ușor de constatat faptul că valorile crescătoare ale lui z și w duc la scăderea valorii pentru $\alpha^{(1)}$, în cazul unui punct cu coordonatele x și y.

4.2. În cazul scurtcircuitului bifazat la pămînt, cu notațiile din (12) și introducînd în (25) valoarea rezultată din (6), se obține:

$$\alpha_p^{(1,1)} = \frac{3}{|2(x + 3z + 3w) + j(2y + 1)|} \qquad (28)$$

Locul geometric al punctelor din planul $x - y$ care satisfac condiția $\alpha_p^{(1,1)} = \alpha$ (z și w fiind parametri) este un cerc cu centrul în coordonatele (x_0, y_0) și raza R:

$$x_0 = -3(z + w)$$
$$y_0 = -\frac{1}{2} \qquad (29)$$
$$R = \frac{3}{\alpha}$$

Pentru anumite valori date z și w, punctele din planul $x - y$ care satisfac condiția $\alpha_p^{(1,1)} < \alpha$ se găsesc în exteriorul circumferinței cercului definit de condiția $\alpha_p^{(1,1)} = \alpha$, iar punctele care îndeplinesc condiția $\alpha_p^{(1,1)} > \alpha$ se găsesc în interiorul cercului respectiv.

După cum rezultă din figurile 12—17, în cazul unui punct cu coordonatele x; y, valorile crescătoare ale lui z și w duc la scăderea valorii pentru $\alpha_p^{(1,1)}$.

5. Aplicație numerică

Se presupune că o linie electrică subterană cu tensiunea nominală de 20 kV și lungimea de 5 km, alcătuită din cabluri tip A2YSY — 70 mm² — 12/20 kV, alimentează un post de transformare. Linia este racordată la barele unei stații de transformare, iar transformatorul are puterea nominală de 25 MVA, conexiunea YD, raport de transformare 110/20 kV și tensiunea de scurtcircuit 11%. Sistemul din amonte are puterea de scurtcircuit de 3000 MVA.

Bobina cu conexiunea Z_0 pentru crearea neutrului artificial are impedanța de secvență homopolară $\bar{Z}_0 = 5{,}7 + j16{,}8\ \Omega$, iar rezistența de limitare a curentului de scurtcircuit monofazat are valoarea 7 Ω.

Scurtcircuitul are loc în postul de transformare a cărui priză de pământ echivalentă poate avea rezistența cu valorile 0—1—2—3—4 Ω.

Folosind notațiile (12), rezultă următorii parametri: $x = 3{,}81$; $y = 7{,}58$; $z = 2{,}27$; $w = 0 - 0{,}32 - 0{,}65 - 1 - 1{,}3$.

Aplicînd formulele (13), (14), (22), (26) și (28), rezultă valorile calculate în tabelul 1.

Tabelul 1

w	K_S	K_T	$\alpha^{(1)}$	K_R	$\alpha_p^{(1,1)}$
0	1,533	1,7	0,209	1,466	0,112
0,32	1,524	1,646	0,199	1,441	0,106
0,65	1,508	1,621	0,189	1,417	0,1
1	1,494	1,545	0,18	1,394	0,094
1,3	1,482	1,505	0,172	1,375	0,09

Datele cuprinse în tabel confirmă concluziile prezentate anterior, atît pentru scurtcircuitul monofazat, cît și pentru scurtcircuitul bifazat la pământ.

Precizarea conținută în PE 109/80, referitoare la necesitatea efectuării calculelor în condițiile subtranzitorii, se justifică din compararea valorilor rezultate cu cele calculate în condițiile regimului permanent; acestea din urmă fiind mai puțin grave decît primele, rezultă că ipoteza (11) conduce la valori acoperitoare în cazul celor doi factori analizați [4], [7].

Concluzii

Formulele prezentate în articol, precum și diagramele din figurile 6—17 permit determinarea factorului de defect la pământ și a factorului de curent la pământ în cazul anumitor valori pentru parametrii ce caracterizează o rețea de medie tensiune cu neutrul legat la pământ prin rezistență.

Din calculele efectuate și diagramele prezentate rezultă influența pe care o au asupra celor doi factori analizați valoarea rezistenței de limitare a curentului de scurtcircuit monofazat, precum și valoarea rezistenței de trecere la locul defectului.

În cazul particular $R = 0$ — deci în cazul rețelelor cu neutrul legat direct la pământ —, din figurile 6, 9, 12, 15 rezultă justificarea precizărilor conținute în PE 109/80 referitoare la condițiile pe care trebuie să le îndeplinească o rețea denumită „cu neutrul efectiv legat la pământ".

Bibliografie

[1] Antoniu, I. S. *Bazele electrotehnicii* vol. I, II. Editura didactică și pedagogică, București, 1974.

[2] Bălan, Gh. și Goia, L. *Influența tratării neutrului asupra siguranței în funcționare a rețelelor de medie tensiune.* În: Energetica — Supliment, Anul IV, vol. 4, 1979. OIDE, București.

[3] Tănăsescu, Al. *Tratarea neutrului rețelelor de MT cu rezistență.* Conferința energeticienilor din România, oct. 1974, VII/36.

[4] Silvestri, A. *Qualche contribute sui guasti dissimmetrici a terra.* În: L'Elettrotecnica vol. LXVI — N. 1, 1979.

[5] Johnston, R. W. *Transmission-System Voltages Under Single and Double Line-to-Ground Fault Conditions.* În: Transactions AIEE Part. III, PAS, aprilie 1958.

[6] Cali, A., Cecconi, V. și Vagliasindi, U. *Le protezioni dai guasti monofase a terra nelle reti a MT in relazione allo stato del neutro.* În: L'energia elettrica, nr. 2, 1979.

[7] * * * PE 109/80. *Normativ privind alegerea izolației, coordonarea izolației și protecția instalațiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor.*

(Articol intrat în redacție la 27 aprilie 1981)

Considerații privind verificarea grupei de conexiuni aferentă transformatoarelor electrice trifazate, prin metoda curentului continuu

Ing. D. Cernomazu
și ing. Gh. Michiu*)

1. Generalități

Cunoașterea grupei de conexiuni aferentă transformatoarelor electrice trifazate este foarte importantă, mai ales în situația în care transformatoarele urmează să funcționeze în paralel.

Din motivele arătate, această verificare este obligatorie la punerea în funcțiune a transformatoarelor sau după orice revizie și reparație.

Cele mai folosite metode de verificare a grupei de conexiuni sînt următoarele:

— metoda compensării (metoda punții);
— metoda celor două voltmetre;
— metoda directă (cu fazmetrul);
— metoda curentului continuu.

Unul dintre dezavantajele importante întîlnite la primele trei metode constă în necesitatea alimentării montajului cu tensiunea alternativă monofazată sau trifazată de la rețeaua de distribuție de joasă tensiune, fapt ce face dificilă aplicarea acestei metode în afara standurilor de probă.

Dezavantajul descris este eliminat în cazul utilizării metodei curentului continuu, unde prezența unei surse de curent continuu de tensiune joasă, precum și simplitatea schemei și a aparaturii de măsură fac ca această metodă să fie preferată în afara standurilor de probă (în exploatare, în atelierele de reparații etc.).

2. Metoda curentului continuu

Metoda curentului continuu se bazează pe stabilirea sensului t.e.m. induse în înfășurări la conectarea sau deconectarea unui curent continuu de valoare redusă într-una din înfășurări. Ca sursă de curent continuu se folosesc baterii de 1,5—4,5 V, care alimentează printr-un buton B înfășurarea de înaltă tensiune, în timp ce sensul tensiunii electromotoare induse se determină de preferință cu ajutorul unui miliampermetru magnetoelectric cu amortizare mare, cu zero la mijlocul scalei și cu domeniul de măsură 0—30 mA.

Pentru creșterea operativității și evitarea greșelilor de montaj, se poate utiliza un montaj permanent ce reprezintă de fapt „indicatorul de polaritate" prezentat în figura 1*a*. Reostatul R are rolul de a regla sensibilitatea aparatului, eliminînd pericolul deteriorării acestuia în cazul unor curenți de valori excesive.

*) Autorii lucrează la Uzina de reparat transformatoare și aparataj electric Roman.

Figura 1*b* indică modul de cuplare a indicatorului de polaritate în cazul determinării grupei de conexiuni pentru un transformator trifazat.

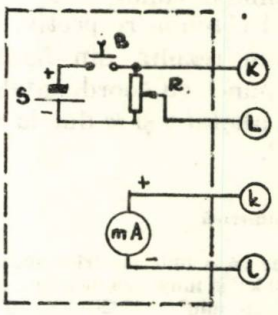


Fig. 1*a*. Indicator de polaritate (schemă electrică interioară)

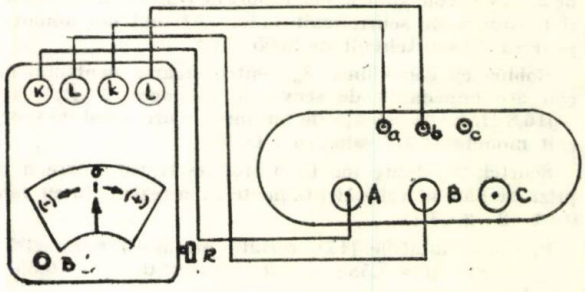


Fig. 1*b*. Schema de montaj pentru determinarea grupei de conexiuni la transformatoarele trifazate.

Se consideră că deviația acului indicator este pozitivă (+) cînd acesta se deplasează spre dreapta și negativă (—) cînd deplasarea are loc în sens contrar, deviațiile fiind considerate în ambele cazuri numai la închiderea circuitului bateriei S.

În figura 2 este prezentată succesiunea celor nouă măsurători necesare determinării grupei de conexiuni pentru un transformator trifazat, iar în tabelul 1 codurile de semnale pentru toate cele 12 grupe de conexiuni posibile.

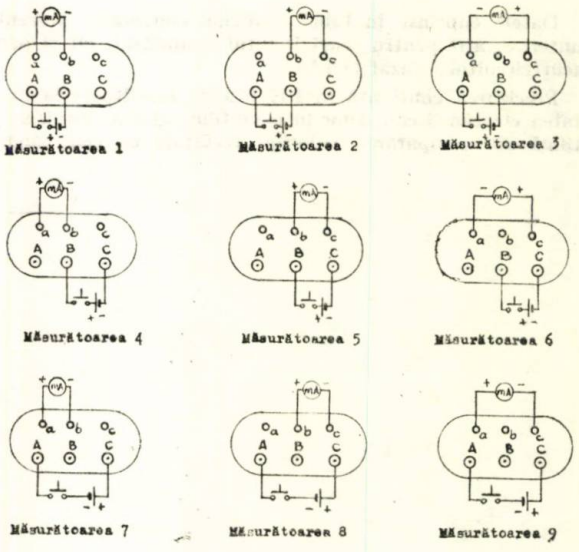


Fig. 2

Tabelul 1

Legături secundare / Legături primare		Codul semnalelor			Codul variabilelor trivalente η_{ij}			Valoarea variabilelor dependente X_k, Y_k, Z_k	
		ab	*bc*	*ca*	*ab*	*bc*	*ca*	în sistemul de numerație cu baza 10	în sistemul de numerație cu baza 3
Grupa 1	*AB*	+	−	0	2	1	0	$x_1 = 210$	$x_1' = 21$
	BC	0	+	−	0	2	1	$y_1 = 21$	$y_1' = 7$
	CA	−	0	+	1	0	2	$z_1 = 102$	$z_1' = 11$
Grupa 2	*AB*	+	−	+	2	1	2	$x_2 = 212$	$x_2' = 23$
	BC	+	+	−	2	2	1	$y_2 = 221$	$y_2' = 25$
	CA	−	+	+	1	2	2	$z_2 = 122$	$z_2' = 17$
Grupa 3	*AB*	0	−	+	0	1	2	$x_3 = 12$	$x_3' = 5$
	BC	+	0	−	2	0	1	$y_3 = 201$	$y_3' = 19$
	CA	−	+	0	1	2	0	$z_3 = 120$	$z_3' = 15$
Grupa 4	*AB*	−	−	+	1	1	2	$x_4 = 112$	$x_4' = 14$
	BC	+	−	−	2	1	1	$y_4 = 211$	$y_4' = 22$
	CA	−	+	−	1	2	1	$z_4 = 121$	$z_4' = 16$
Grupa 5	*AB*	−	0	+	1	0	2	$x_5 = 102$	$x_5' = 11$
	BC	+	−	0	2	1	0	$y_5 = 210$	$y_5' = 21$
	CA	0	+	−	0	2	1	$z_5 = 21$	$z_5' = 7$
Grupa 6	*AB*	−	+	+	1	2	2	$x_6 = 122$	$x_6' = 17$
	BC	+	−	+	2	1	2	$y_6 = 212$	$y_6' = 23$
	CA	+	+	−	2	2	1	$z_6 = 221$	$z_6' = 25$
Grupa 7	*AB*	−	+	0	1	2	0	$x_7 = 120$	$x_7' = 15$
	BC	0	−	+	0	1	2	$y_7 = 12$	$y_7' = 5$
	CA	+	0	−	2	0	1	$z_7 = 201$	$z_7' = 19$
Grupa 8	*AB*	−	+	−	1	2	1	$x_8 = 121$	$x_8' = 16$
	BC	−	−	+	1	1	2	$y_8 = 112$	$y_8' = 14$
	CA	+	−	−	2	1	1	$z_8 = 211$	$z_8' = 22$
Grupa 9	*AB*	0	+	−	0	2	1	$x_9 = 21$	$x_9' = 7$
	BC	−	0	+	1	0	2	$y_9 = 102$	$y_9' = 11$
	CA	+	−	0	2	1	0	$z_9 = 210$	$z_9' = 21$
Grupa 10	*AB*	+	+	−	2	2	1	$x_{10} = 221$	$x_{10}' = 25$
	BC	−	+	+	1	2	2	$y_{10} = 122$	$y_{10}' = 17$
	CA	+	−	+	2	1	2	$x_{10} = 212$	$z_{10}' = 23$
Grupa 11	*AB*	+	0	−	2	0	1	$x_{11} = 201$	$x_{11}' = 19$
	BC	−	+	0	1	2	0	$y_{11} = 120$	$y_{11}' = 15$
	CA	0	−	+	0	1	2	$z_{11} = 12$	$z_{11}' = 5$
Grupa 12	*AB*	+	−	−	2	1	1	$x_{12} = 211$	$x_{12}' = 22$
	BC	−	+	−	1	2	1	$y_{12} = 121$	$y_{12}' = 17$
	CA	−	−	+	1	1	2	$z_{12} = 112$	$z_{12}' = 14$

3. Considerații privind posibilitățile de simplificare a codurilor grupelor de conexiuni

Analiza codurilor de semnale prezentate în tabelul 1 scoate în evidență dezavantajul memorării relativ greoaie a acestora, fapt explicabil prin lipsa unui algoritm de întocmire și reținere a acestora.

O primă constatare rezultată din examinarea celor 12 coduri este aceea că ele sînt formate din combinațiile a trei semnale corespunzătoare a trei stări distincte :

— semnalul zero (cînd acul miliampermetrului rămîne imobil) ;

— semnalul (+) (cînd acul miliampermetrului se deplasează la dreapta scalei) ;

— semnalul (—) (cînd acul miliampermetrului se deplasează la stînga scalei).

Cele trei semnale care apar în codul grupelor de conexiuni pot fi considerate stări trivalente.

Pentru stabilirea unor relații de calcul cu aceste stări se stabilesc următoarele corespondențe : cifra 0 corespunde indicației zero ; 1 corespunde indicației minus ; 2 corespunde indicației plus. Semnele 0, (+) și (—) de pe scala aparatului indicator se înlocuiesc cu cifrele 0 ; 1 ; 2.

Se observă că fiecare cod aferent unei grupe de conexiuni poate fi reprezentat printr-un tablou numeric de forma :

	ab	*bc*	*ca*
AB	η_{11}	η_{12}	η_{13}
BC	η_{21}	η_{22}	η_{23}
CA	η_{31}	η_{32}	η_{33}

Fig. 3

unde un element numeric η_{ij} poate lua una din valorile 0 ; 1 ; 2 ce reprezintă valorile posibile ale variabilelor trivalente (variante independente).

Elementele tabloului din figura 3, repartizate pe cele trei linii, alcătuiesc combinații de trei cifre, a căror valoare se notează cu X_k ; Y_k și Z_k, care reprezintă variabilele dependente ale codului unei grupe cu indicele orar K, adică :

$$X_k = f(\eta_{11} ; \eta_{12} ; \eta_{13})$$
$$Y_k = f(\eta_{21} ; \eta_{22} ; \eta_{23})$$
$$Z_k = f(\eta_{31} ; \eta_{32} ; \eta_{33})$$

În tabelul 1 sînt reprezentate codurile celor 12 grupe de conexiuni, exprimate prin variabilele trivalente ce aparțin sistemului de numerație în baza 3.

4. Proprietăți generale

Examinarea tuturor codurilor din tabelul 1 scoate în evidență următoarele proprietăți :

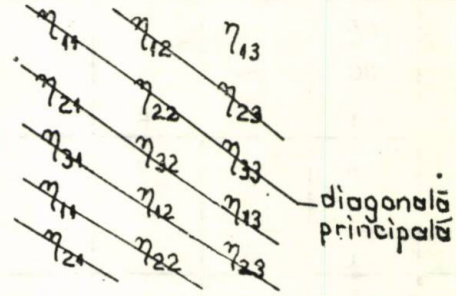
4.1. Elementele fiecărei linii a codului grupei de conexiuni exprimate prin variabilele trivalente se obțin din elementele liniei precedente, după efectuarea unei permutări circulare în sens direct asupra acestora.

Proprietatea enunțată anterior poate fi exprimată prin următoarele relații matematice :

$$\eta_{11} = \eta_{22} = \eta_{23}$$
$$\eta_{12} = \eta_{23} = \eta_{31}$$
$$\eta_{13} = \eta_{21} = \eta_{32}$$

Pentru eliminarea necesității memorării acestor relații, autorii indică o regulă practică asemănătoare regulii lui Sarrus (aplicată pentru calcul determinanților de ordinul trei), și anume :

În continuarea tabloului codului format din cele 3 linii a cîte 3 elemente se așază primele 2 linii. Se obține un tablou format din 6 linii a cîte 3 elemente. Toate elementele aflate pe diagonala principală a tabloului codului, cît și pe celelalte diagonale paralele cu aceasta sînt egale între ele.



Această proprietate (comună tuturor grupelor de conexiuni) — foarte importantă de altfel — dă posibilitatea întocmirii codului unei grupe de conexiuni, cînd se cunoaște combinația de elemente trivalente aferentă unei singure linii a codului.

În felul arătat, codul celor 12 grupe de conexiuni poate fi reprezentat prin combinația de elemente trivalente aferentă primei linii.

4.2. Efectuarea unei permutări circulare în sens direct asupra variabilelor dependente X_k, Y_k, Z_k (unde $k = 1, 2, \ldots 12$) duce la obținerea variabilelor dependente aferente codului unei grupe de conexiuni cu indicele orar modificat cu 4 ore în sens crescător.

Expresia matematică a acestei proprietăți este dată de relațiile :

$$X_{k+4} = Z_k$$
$$Y_{k+4} = X_k$$
$$Z_{k+4} = Y_k$$

4.3. Efectuarea unei permutări circulare în sens indirect asupra variabilelor dependente X_k, Y_k, Z_k ($k = 1, 2, \ldots 12$) duce la obținerea variabilelor dependente aferente codului unei grupe de conexiuni cu indicele orar modificat cu 4 ore în sens descrescător, adică :

$$X_{k-4} = Y_k$$
$$Y_{k-4} = Z_k$$
$$Z_{k-4} = X_k$$

Aceste două proprietăţi ale codurilor grupelor de conexiuni corespund unui fenomen fizic întîlnit la transformatoarele electrice trifazate, şi anume că efectuarea unei permutări circulare la bornele uneia din înfăşurările transformatorului duce la modificarea indicelui orar al grupei cu 4 ore în sens crescător sau descrescător, după cum permutarea a fost efectuată în sens direct sau indirect.

4.4. Între variabilele dependente aferente primei linii din codul grupelor 1 şi 2 există următoarele relaţii matematice:

$$X_2 = X_1 + 2$$

Toate proprietăţile enumerate anterior sînt comune tuturor grupelor şi sînt independente de faptul dacă combinaţiile elementelor de pe liniile codurilor sînt considerate a fi în sistemul de numeraţie în baza 10 sau în baza 3.

5. Proprietăţi specifice codurilor grupelor impare

5.1. Liniile sau coloanele codurilor nu conţin elemente indentice.

5.2. Variabilele independente de forma η_{ij} care apar în componenţa codului pot avea una din valorile 0; 1; 2.

a) Admiţînd că variabilele independente distribuite pe liniile codurilor formează combinaţii considerate ca aparţinînd sistemului de numeraţie în baza 10, rezultă următoarele proprietăţi:

5.3.a. Suma variabilelor dependente X_k, Y_k, Z_k aferente codului unei grupe impare cu indicele orar K ($K = 1; 3; 5; 7; 9; 11$) este egală cu 333, adică:

$$X_k + Y_k + Z_k = 333$$

5.4.a. Între variabilele dependente X_k, Y_k, Z_k ($K = 1, 3, 5, 7, 9, 11$), aferente grupelor impare, există următoarele relaţii matematice:

$$X_1 + X_3 = X_5 + X_7 = X_9 + X_{11} = 222$$
$$Y_1 + Y_3 = Y_5 + Y_7 = Y_9 + Y_{11} = 222$$
$$Z_1 + Z_3 = Z_5 + Z_7 = Z_9 + Z_{11} = 222$$
$$X_3 + Y_5 = X_7 + Y_9 = X_{11} + Y_1 = 222$$
$$Y_3 + Z_5 = Y_7 + Z_9 = Y_{11} + Z_1 = 222$$
$$Z_3 + X_5 = Z_7 + X_9 = Z_{11} + X_1 = 222$$

b) Admiţînd că variabilele independente η_{ij} distribuite pe liniile codurilor formează combinaţii considerate ca aparţinînd sistemului de numeraţie în baza 3, rezultă următoarele proprietăţi:

5.3.b. Suma variabilelor dependente X_k, Y_k, Z_k, aferente codului unei grupe impare cu indicele orar K ($K = 1, 3, 5, 7, 9, 11$) este egală cu 39, adică:

$$X_k + Y_k + Z_k = 39$$

5.4.b. Între variabilele dependente X_k, Y_k, Z_k ($K = 1, 3, 5, 7, 9, 11$) aferente grupelor impare există următoarele relaţii matematice:

$$X_1 + X_3 = X_5 + X_7 = X_9 + X_{11} = 26$$
$$Y_1 + Y_3 = Y_5 + Y_7 = Y_9 + Y_{11} = 26$$
$$Z_1 + Z_3 = Z_5 + Z_7 = Z_9 + Z_{11} = 26$$
$$X_3 + Y_5 = X_7 + Y_9 = X_{11} + Y_1 = 26$$
$$Y_3 + Z_5 = Y_7 + Z_9 = Y_{11} + Z_1 = 26$$
$$Z_3 + X_5 = Z_7 + X_9 = Z_{11} + X_1 = 26$$

În tabelul 2 este prezentată corespondenţa dintre sistemul de numeraţie în baza 10 şi sistemul de numeraţie în baza 3.

Tabelul 2

Corespondenţa dintre sistemul de numeraţie în baza 3 şi sistemul de numeraţie în baza 10

Sistemul de numeraţie în baza 3			Sistemul de numeraţie în baza 10
0	0	0	0
0	0	1	1
0	0	2	2
0	1	0	3
0	1	1	4
0	1	2	5
0	2	0	6
0	2	1	7
0	2	2	8
1	0	0	9
1	0	1	10
1	0	2	11
1	1	0	12
1	1	1	13
1	1	2	14
1	2	0	15
1	2	1	16
1	2	2	17
2	0	0	18
2	0	1	19
2	0	2	20
2	1	0	21
2	1	1	22
2	1	2	23
2	2	0	24
2	2	1	25
2	2	2	26

5.5. Considerînd că variabilele independente η_{ij} aferente codurilor grupelor impare formează determinanţi de ordinul al treilea, valoarea acestor determinanţi este egală cu 9 pentru toate grupele impare.

$$\Delta_k = \begin{vmatrix} \eta_{11} & \eta_{12} & \eta_{13} \\ \eta_{21} & \eta_{22} & \eta_{23} \\ \eta_{31} & \eta_{32} & \eta_{33} \end{vmatrix} = 9$$

unde $K = 1, 3, 5, 7, 9, 11$.

5.6. Avînd în vedere proprietăţile 5.1, 5.2, şi 5.3, rezultă că dintr-un determinant Δ_k aferent unei grupe cu indicele orar K ($K = 1, 3, 5, 7, 9, 11$) se obţine, printr-o permutare circulară a coloanelor şi printr-o schimbare a liniilor prin coloane, un determinant aparţinînd de asemenea familiei grupelor impare.

6. Proprietăţi specifice grupelor pare

6.1. Liniile sau coloanele codurilor conţin două elemente identice.

6.2. Variabilele independente de forma η_{ij} ce apar în componenţa codului pot avea două valori, 1 şi 2.

a) Admiţînd că variabilele independente η_{ij} distribuite pe liniile codurilor formează combinaţii considerate în sistemul de numeraţie cu baza 10, rezultă următoarele proprietăţi :

6.3.a. Suma variabilelor dependente X_k, Y_k, Z_k aferente codului unei grupe pare cu indicele orar K ($K = 2, 4, 6, 8, 10, 12$) este egală cu 555, adică :

$$X_k + Y_k + Z_k = 555$$

6.4.a. Între variabilele dependente aferente grupelor pare succesive există următoarele relaţii :

$$X_k + Z_{k+2} = 333$$
$$Y_k + X_{k+2} = 333$$
$$Z_k + Y_{k+2} = 333$$

b) Considerînd că variabilele independente η_{ij} distribuite pe liniile codurilor formează combinaţii considerate ca aparţinînd sistemului de numeraţie în baza trei, rezultă următoarele proprietăţi :

6.3.b. Între variabilele dependente X_k, Y_k, Z_k ($K = 2, 4, 6, 8, 10, 12$) aparţinînd codurilor grupelor de conexiuni pare se stabilesc următoarele relaţii :

$$X_2 + Y_2 + Z_2 = X_6 + Y_6 + Z_6 =$$
$$= X_{10} + Y_{10} + Z_{10} = 52$$
$$X_4 + Y_4 + Z_4 = X_8 + Y_8 + Z_8 =$$
$$= X_{12} + Y_{12} + Z_{12} = 65$$

6.4.b. Între variabilele dependente aferente grupelor pare succesive există următoarele relaţii :

$$X_k + Z_{k+2} = 39$$
$$Y_k + X_{k+2} = 39$$
$$Z_k + Y_{k+2} = 39$$

6.5. Considerînd că variabilele independente η_{ij} aferente codurilor grupelor pare formează determinanţi de ordinul trei, între aceşti determinanţi există următoarele relaţii :

$$\Delta_2 = \Delta_6 = \Delta_{10} = 5$$
$$\Delta_4 = \Delta_8 = \Delta_{12} = 4$$

7. Algoritm pentru determinarea codurilor celor 12 grupe de conexiuni aferente transformatoarelor electrice trifazate

În urma examinării ansamblului de proprietăţi aferente codurilor grupelor de conexiuni a rezultat un ansamblu de reguli care, aplicate într-o anumită succesiune, să permită determinarea tuturor codurilor grupelor de conexiuni.

Se prezintă în continuare succesiunea etapelor necesare determinării codurilor grupelor de conexiuni :

$$1 - \quad X_1 = 210$$
$$2 - \quad X_2 = X_1 + 2$$
$$3 - \quad X_3 = 222 - X_1$$
$$4 - \quad Z_4 = 333 - X_2$$

5. Din X_1 şi X_2 ; X_3 şi Z_4 se determină codurile grupelor 1, 2, 3, 4 aplicînd proprietatea 4.1, care arată că : elementele fiecărei linii a codului grupei de conexiuni exprimat prin variabile trivalente se obţin din elementele liniei precedente după efectuarea unei permutări circulare în sens direct asupra acestora.

Este indicat a se aplica regula lui Sarrus, adaptată acestei situaţii, şi anume :

În continuarea codului grupei format din 3 linii a cîte 3 elemente se aşază primele două linii.

Toate elementele aflate pe diagonala principală şi pe diagonalele paralele la aceasta sînt egale între ele.

6. Din codurile grupelor 1, 2, 3, 4 determinate anterior, se află codurile celorlalte grupe de conexiuni cu ajutorul relaţiilor :

$$X_{k+4} = Z_k$$
$$Y_{k+4} = X_k$$
$$Z_{k+4} = Y_k$$

Relaţiile matematice menţionate anterior pot fi înlocuite cu o metodă practică enunţată astfel :

— printr-o permutare circulară directă asupra variabilelor dependente ale unei grupe de conexiuni se obţine o altă grupă de conexiuni cu indicele orar majorat în sens crescător cu 4 ore.

Bibliografie

[1] Popovici, A. şi colectiv. *Maşini electrice*. Îndrumar de laborator. I. P. Iaşi, 1974.

[2] Cîrstea, D. şi colectiv. *Încercarea transformatoarelor* Vol. II. Editura tehnică, Bucureşti, 1967.

[3] Drăgan, Şt. *Exploatarea şi întreţinerea transformatoarelor de măsură*. Editura tehnică, Bucureşti, 1969.

[4] Boţan, N. V. *Comanda sistemelor de acţionare electrică*. Editura tehnică, Bucureşti, 1977.

[5] Poeată, N. *Calculatoare automate şi programate*. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1967.

(Articol intrat în redacţie la 2 decembrie 1980)

Recenzii

STEPHEN L. FELDMAN şi ROBERT M. WIRTSHAFTER. **On the Economics of Solar Energy** (Probleme economice ale energeticii solare). Lexington Books, Lexington, Massachusetts, 1981, 257 p.

Lucrarea de mai sus este printre puţinele monografii dedicate problemelor economice ale energeticii solare, cu referire specială la încălzirea şi condiţionarea locuinţelor.

Cartea cuprinde un număr de şapte capitole, bibliografie, 3 figuri şi 44 tabele.

În capitolul 1 se prezintă componentele fundamentale şi principiile ce stau la baza asigurării unui confort energetic corespunzător într-o locuinţă. Se face o primă investigaţie a relaţiei care se creează între sistemul complex al clădirilor şi sistemul energetic (de exemplu întreprinderea energetică). În acest context se face o primă prezentare a intervenţiei energeticii solare în scopul asigurării unor funcţiuni de încălzire/condiţionare într-o clădire şi a relaţiilor care se creează în acest sens cu sistemul energetic.

Capitolul 2 prezintă la început o revedere generală a unor modele utilizate pentru analiza de tip cost-beneficiu a diferitelor sisteme de încălzire solare utilizate pentru locuinţe. În continuare se adoptă un model specific ; el evaluează performanţa unei locuinţe şi utilităţile ei energetice. Necesarul de electricitate pentru locuinţă se studiază în condiţiile unor situaţii climatice medii şi extreme. Analizele tehnico-economice cuprind şi relevă treptat eficienţa economică a unei soluţii de proiectare energetică a clădirii pentru constructor, sistemul (întreprinderea energetică) sau economia naţională. Prezentarea modelului şi a rezultatelor este calitativă şi include în mai multe etape şi critici asupra acestora. În context se prezintă impactul utilizării energiei solare prin intermediul sistemelor active.

În continuare (capitolul 3) se examinează impactul pe care îl poate avea asupra întreprinderilor energetice specializate creşterea în perspectivă a necesarului de apă caldă şi condiţionare prin utilizarea energiei solare. Capitolul prezintă cîteva din modelele matematice de prognoză ale consumului de energie electrică şi a necesarului de energie de vîrf. O atenţie specială se acordă modelului matematic ce încorporează prognoza penetrării energeticii solare în baza energetică, în structura de producere clasică a energiei într-o întreprindere de profil. Se ţine seama de modul în care tehnologiile solare vor avea un efect asupra producţiei de vîrf de energie a unei întreprinderi energetice.

Capitolul următor prezintă un studiu de caz pentru „Colorado Springs" prin aplicarea modelului descris în capitolul anterior. Prin aplicarea modelului în cazul unei economii de piaţă, se observă că există o diferenţă importantă între optimul la nivelul beneficiarului individual, întreprinderea energetică şi economia naţională.

Modelul identifică compromisul „între diferite opţiuni de proiecte de clădiri, incluzînd conservarea energiei, energie solară sau altă formă de energie".

Capitolul 5 analizează amplu aspecte economice specifice ale promovării energeticii solare, sub formă de efecte directe, cît şi indirecte. Acest studiu se face în contextul utilizării integrate a unei abordări econometrice, inginereşti, manageriale cît şi din punct de vedere termodinamic. În context se prezintă experienţa unor întreprinderi energetice americane. În cadrul acestui capitol se discută posibilitatea finanţării din partea întreprinderilor energetice a aplicaţiilor solare sau de conservare a energiei, precum şi impactul economic al investiţiilor în tehnologii solare din partea acestor întreprinderi. Se prezintă modele de calcul analitice.

Consideraţiile economice referitoare la dezvoltarea relaţiilor instituţionale între întreprinderile energetice şi energetica solară se prezintă în capitolul 6.

Ultimul capitol al lucrării studiază interfaţa tehnologie solară — întreprindere energetică şi sintetizează rezultatele şi concluziile deja obţinute în cadrul lucrării.

Sursele bibliografice sînt ample şi bine echilibrate în contextul lucrării.

În carte se analizează în detaliu aspecte economice şi energetice fundamentale ale promovării energeticii solare. Studiul, modelele şi rezultatele sînt amănunţit incluse în economia cărţii.

Cartea se adresează energeticienilor şi economiştilor cu sarcini speciale în promovarea energiei solare, în special în domeniul locuinţelor. Ea este de nivel avansat şi dă soluţii şi deschideri utile pentru justificarea economică a introducerii tehnologiilor energetice uşoare studiind în mod special relaţia dintre interesele publicului şi ale întreprinderilor energetice.

Conf. dr. ing. **Adrian V. Gheorghe**

Tematica revistei „Energetica"

Revista ENERGETICA este publicația lunară destinată problemelor energeticii. Prin conținutul său, se urmărește ca revista ENERGETICA să reflecte cît mai cuprinzător și la zi preocupările spirituale și realizările materiale din domeniul energeticii.

Ca urmare a faptului că domeniul energeticii este vast și divers, ne propunem ca în etapa următoare să acordăm un spor de atenție grupelor de probleme *care se detaliază în TEMATICA de mai jos ; ele vor fi reexaminate și adaptate periodic. Prin aceasta nu se exclude publicarea și a altor materiale cu conținut diferit de cel al tematicii propuse.*

În revista ENERGETICA se publică :

— Articole.

— Rubrică permanentă, cu informații referitoare la publicații recente (cărți și reviste), noutăți tehnico-științifice, note despre congrese — conferințe — simpozioane, naționale și internaționale, titluri de articole de specialitate din alte reviste.

— Materiale diverse : recenzii, cronici, descrierea unor invenții de interes deosebit, din experiența de exploatare și prezentarea unor realizări tehnice remarcabile (în vederea generalizării lor), discuții la articolele publicate, puncte de vedere ale autorilor, concluziile discuțiilor din jurul meselor rotunde.

I. Energetică generală, energetică industrială și economia de energie

1. Orientări generale în economia națională spre tehnologii cu consumuri reduse de energie.

2. Modele cu grad mare de încredere pentru prognozarea consumurilor de energie, a corelațiilor dintre ramuri industriale, ale acestora cu consumurile neindustriale și nivelul de viață etc.

3. Modele pentru optimizarea bilanțurilor energetice globale pe economia națională.

4. Modele pentru optimizarea fluxurilor de energie; necesitatea stocurilor intermediare ; analiza felurilor de purtători de energie pentru stocare ; optimizarea transportului de energie prin alegerea optimă a tehnologiei de transport, a purtătorilor de energie etc.

5. Acțiuni stimulatoare pentru optimizarea folosirii energiei (sisteme de tarifare, sisteme de măsurare, sisteme de stimulare materială etc.).

6. Analize energetice comparative ale tehnologiilor folosite în diferite domenii : metalurgie, chimie, industria alimentară, celuloză și hîrtie, construcții de mașini. Analize ale consumurilor specifice. Metode și căi de reducere.

7. Valorificarea optimizată a surselor energetice în cadrul proceselor industriale ; îmbunătățirea bilanțurilor energetice ; conducerea proceselor prin calculatoare.

8. Organizarea proceselor de producție industrială după principiul circuitului economic integrat (procesul circular activ).

9. Implementarea surselor noi și regenerabile de energie pentru alimentarea gospodăriilor individuale, în agricultură și în industrie ; combinarea surselor de energie clasică cu cele noi și regenerabile.

10. Organizarea regimului de consum la diferitele categorii de consumatori în vederea reglării curbei de sarcină (anuală, săptămînală și zilnică).

11. Analize energetice comparative ale tipurilor de agregate folosite în liniile tehnologice.

12. Soluții energotehnologice pentru valorificarea avansată a potențialului energetic disponibil în procesele tehnologice (prin utilizarea schimbătoarelor de căldură, a pompelor de căldură etc.).

13. Scheme și soluții ale sistemelor industriale cu grad de fiabilitate ridicat.

14. Soluții pentru îmbunătățirea gospodăririi și conservării energiei prin :

— optimizarea parametrilor agenților purtători de energie ;

— optimizarea izolațiilor termice la construcții, clădiri, recipienți, conducte etc. ;

— extinderea automatizărilor, reglajului, măsurării ;

— recuperarea energiei și purtătorilor la fluidele condensate ;

— metode de depistare a neetanșeităților și a pierderilor de fluide cu ajutorul tehnicilor moderne.

15. Aspectele energetice ale sistemelor de acționare în procesele industriale (acționări cu abur, cu lichide sub presiune, cu energie electrică, cu aer comprimat etc.).

II. Reducerea consumurilor specifice de combustibil și energie electrică în centralele electrice

1. Îmbunătățirea urmăririi consumului specific și a randamentului agregatelor din centralele electrice ; analiză lunară pe bază de postcalcul ; analiză de caz a unor centrale care depășesc sistematic consumul specific de combustibil ; utilizarea sistemului informatic URMECO ; îmbunătățirea sistemului de măsurare cantitativă și calitativă a combustibililor solizi.

2. Modernizări de echipamente și îmbunătățiri de scheme tehnologice la agregatele de bază ; recuperarea căldurii gazelor de ardere cu schimb de căldură cu tuburi termice ; instalații de curățire continuă a condensatoarelor cu bile de cauciuc ; grătare postardere la cazane ; posibilități de recuperare a căldurii din condensator.

3. Optimizarea proceselor de ardere și a funcționării cazanelor de abur ; instalații de separare totală sau parțială a prafului de cărbune din morile-ventilator ; miniarzătoare de păcură ; suflătoare de funingine pentru curățirea suprafețelor de schimb de căldură ; optimizarea funcționării morilor de cărbune.

4. Trecerea unor turbine la funcționarea în regim cu vid înrăutățit ; realizarea unor instalații de recuperare a aburului din condensator, preîncălzirea apei brute, apei epurate etc.

5. Creșterea gradului de utilizare a prizelor de termoficare și transformarea unor turbine de condensație în turbine de termoficare ; trecerea în regim de termoficare a grupurilor de condensație K 200—165 de fabricație Skoda ; soluții pentru reducerea livrărilor de abur industrial prin SRR din centralele de termoficare.

6. Îmbunătățirea schemelor la instalațiile de măsură, automatizare și reglaj, vizînd menținerea parametrilor nominali și urmărirea abaterilor ; măsurarea pe cale radiometrică a

puterii calorifice și a conținutului de cenușă pentru urmărirea calității ligniților inferiori.

7. Îmbunătățirea funcționării instalațiilor de răcire; reparații turnuri de răcire, baraje etc.

8. Lucrări de reparație și întreținere la agregatele de bază și instalațiile anexe pentru creșterea randamentului acestora; asigurarea continuității funcționării turbopompelor de alimentare; eliminarea neetanșeității preîncălzitoarelor de aer rotative; înlocuire țevi, condensatoare; reparații PIP, PJP etc.

9. Raționalizări și modernizări de scheme proprii pentru reducerea consumului de energie electrică și termică ale serviciilor interne; soluții de funcționare economică a pompelor de alimentare; optimizarea funcționării pompelor de rețea de termoficare; funcționarea economică a circuitelor hidrotehnice; reducerea pierderilor de apă-abur.

III. Reducerea și eliminarea consumului de hidrocarburi

1. Eliminarea consumului de hidrocarburi suport de flacără prin: sisteme de măcinare și insuflare perfecționate, înlocuire cu gaz de gazogen, omogenizarea calității cărbunelui, aparate de măsură și instalații de automatizare.

2. Eliminarea consumului de hidrocarburi de suplinire a deficitului de debit de cărbune al morilor (mărirea debitului morilor, scurtarea timpului de reparație a acestora, prevenirea pătrunderii corpurilor străine).

3. Trecerea cazanelor cu combustibili de bază hidrocarburi la arderea combustibilului solid; analiză de principiu; soluții constructive.

4. Îmbunătățiri constructive ale cazanelor (centuri de aprindere, grătare postardere, arzătoare îmbunătățite, de exemplu miniarzătoare de păcură).

IV. Reducerea consumurilor proprii tehnologice în rețelele electrice

1. Îmbunătățirea randamentelor echipamentelor din instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice.

2. Obținerea de noi materiale electrotehnice (conductor, tolă), cu pierderi specifice mici, folosite la construcția LEA, LES și transformatoarelor.

3. Influența structurii în perspectivă a producției de energie electrică pe tipuri de combustibili asupra consumului propriu tehnologic (CPT) în transport și distribuție.

4. Optimizarea dezvoltării în perspectivă a rețelelor de joasă, medie, înaltă și foarte înaltă tensiune în scopul reducerii CPT.

5. Optimizarea exploatării prin dispecer a regimurilor rețelelor în scopul reducerii CPT în transportul și distribuția energiei electrice.

6. Amplasarea și stabilirea regimului optim al surselor de putere reactivă din SEN în vederea reducerii CPT în transportul și distribuția energiei electrice.

7. Regimuri optime de interconectare a SEN cu sistemele vecine, care să conducă la reducerea CPT.

8. Căi pentru obținerea regimului optim la consumatorii industriali care să asigure CPT minim în rețeaua SEN.

9. Estimarea pierderilor corona în LEA de 220 kV și 400 kV din R.S.R. funcție de geometria rețelelor și de condițiile meteorologice specifice țării noastre; căi pentru reducerea acestora.

10. Evaluarea efectelor regimurilor deformante din rețelele SEN și de la consumatori asupra contorizării energiei electrice și a calculului CPT în transport și distribuție.

11. Încadrarea în normele și prescripțiile de exploatare a echipamentelor electroenergetice concepute în scopul reducerii CPT în rețele.

12. Noi tehnologii și tehnici aplicate în proiectarea, conducerea, exploatarea și întreținerea rețelelor electrice ale SEN care conduc la reducerea CPT în transport și distribuție.

13. Îmbunătățirea evidenței CPT în transportul și distribuția energiei electrice, căi pentru reducerea pierderilor comerciale, metodologii, programe pentru estimare și postcalcule.

V. Creșterea siguranței în funcționare a sistemului electroenergetic și a elementelor acestuia

1. Metode, criterii și principii de consolidare a siguranței; modele matematice, criterii tehnice și economice; principii de dimensionare, alternanța siguranță-economicitate; consolidarea siguranței sub aspectul daunelor; analiza factorilor economici care influențează nivelul de siguranță.

2. Considerarea siguranței la dimensionarea sistemului energetic în ansamblu și a componentelor sale; corelarea gradului de siguranță între diversele categorii (consumuri, centrale, rețele); exprimarea gradului de siguranță în prognoza consumurilor de energie electrică și de căldură în termoficare; exprimarea gradului de siguranță în programele de dezvoltare a centralelor și rețelelor electrice; elemente de siguranță pe ansamblul sistemului energetic cu indicatori unici tehnici și economici; noi soluții tehnice cu siguranță mărită.

3. Comportarea echipamentelor și a sistemului energetic în caz de avarii și în funcționare normală; statistici privind indisponibilitățile și duratele de remediere ale diferitelor componente din sistemul energetic; problema optimizării stocurilor de rezervă pe diferitele categorii de echipamente; măsuri pentru creșterea disponibilității echipamentelor și localizarea acestora în teritoriu și pe echipamente.

4. Automatica de limitare a avariilor de sistem; cauze care conduc la apariția marilor avarii de sistem; soluții preconizate pentru limitarea extinderii avariilor, prin dimensionare și prin automatică (deconectări automate de sarcină, pornire automată grupuri hidro și compensatoare sincrone, izolarea și insularizarea marilor platforme industriale, rămînerea în funcționare pe servicii proprii a marilor grupuri termogeneratoare, secționări în sistemul energetic etc.).

5. Rolul interconexiunilor în creșterea siguranței sistemului energetic; creșterea siguranței în funcționarea centralelor electrice; reducerea puterii instalate pentru rezervă; siguranța în alimentarea cu energie electrică a zonelor periferice prin noi interconexiuni locale.

6. Creșterea siguranței în funcționare prin instalații de dispecer; concepția actuală de dispecer și rolul acesteia în ceea ce privește creșterea siguranței în funcționare; posibilități de intervenție operativă pentru eliminarea avariilor; metode on-line și off-line de estimare a siguranței în funcționare. Reglajul frecvență-putere și rolul său în creșterea siguranței.

7. Soluții pentru creșterea siguranței în funcționare și alimentarea cu energie electrică continuă a consumatorilor; reparații, încercări profilactice, revizii, întreținere; prevedere caiete de sarcini; intervenții operative, lucrul sub tensiune etc

VI. Extinderea și creșterea eficienței termoficării

1. Realizări și perspective ale dezvoltării termoficării în corelație cu dezvoltarea consumului de căldură în România și politica energetică de perspectivă.

2. Perfecționarea echipamentelor centralelor electrice de termoficare pe cărbuni inferiori, creșterea disponibilității, scăderea investițiilor.

3. Concepția de alimentare cu căldură și energie electrică a zonelor urbane aglomerate.

4. Transformarea centralelor de condensație pe cărbuni în vederea livrării de căldură în termoficare. Realizări, perspective.

5. Probleme ale trecerii pe cărbune a centralelor de termoficare funcționînd în prezent pe hidrocarburi.

6. Limitele economice ale termoficării, funcție de mărimea și caracteristica consumului și distanța de transport a lignitului.

7. Probleme ale reducerii investițiilor în centralele de termoficare pe lignit și în special în cele cu grupuri mici.

8. Concepții noi în realizarea și exploatarea rețelelor de distribuție centralizată a căldurii. Preluarea vîrfului de căldură. Comandă prin dispecer.

9. Efectele economice ale introducerii contorizării căldurii la consumatori.

10. Sisteme eficiente de acumulare zonală și locală a căldurii în sistemele de distribuție centralizată în vederea preluării vîrfului și a reducerii capacităților în centrale.

11. Probleme ale producerii căldurii în termoficare din viitoarele centrale nuclearoelectrice.
12. Reducerea consumului de căldură pentru încălzire prin mărirea izolației clădirilor.
13. Perfecționarea transportului căldurii. Materiale noi, reducerea pierderilor de energie.

VII. **Creșterea productivității muncii**

1. Productivitatea muncii în specificul industriei energiei electrice și termice : concept, exprimare, calcul, metodologii, niveluri, tendințe.
2. Căile de creștere a productivității muncii :
— în specificul industriei energiei electrice și termice ;
— în lucrările de construcții și montaje energetice.
3. Probleme specifice de mecanizare și progres tehnic destinat creșterii productivității muncii :
— în activitățile de exploatare, întreținere, reparații centrale și rețele electrice și de termoficare ;
— în lucrările de construcții și montaje energetice.
4. Perfecționarea organizării conducerii, producției și a muncii în energetică.
5. Impactul informaticii în ramura energiei electrice și termice, probleme și soluții specifice ramurii.

VIII. **Surse și tehnologii noi în energetică**

1. Tendințe și perspective privind dezvoltarea și valorificarea surselor noi de energie din R. S. România.
2. Aspecte tehnice, economice și tehnologice privind conversia energiei solare în energie electrică.
3. Scheme și soluții pentru conversia energiei solare în energie electrică.
4. Aspecte tehnice, economice și tehnologice privind conversia energiei solare în căldură.
5. Scheme și soluții pentru conversia energiei solare în căldură.
6. Analize și evaluări ale potențialului energetic eolian la scară națională și pe zone.
7. Aspecte tehnico-economice, tehnologice, scheme și soluții privind instalațiile eoliene.
8. Aplicarea și posibilitățile de valorificare a altor surse noi de energie.
9. Instalații de mare capacitate și tehnologii pentru acumularea energiei cu aplicații în sistemul electroenergetic.
10. Instalații de mare capacitate de acumulare a căldurii cu aplicații la centrale solaroelectrice, în termoficare etc.
11. Tehnici, tehnologii și aparataj de măsură și diagnosticare necesare în exploatarea instalațiilor de valorificare a surselor noi.

IX. **Combaterea poluării mediului înconjurător și valorificarea deșeurilor**

1. Metode și aparatură de detectare, măsurare și control al poluanților emiși de centralele electrice în atmosferă.
2. Metode de reducere a poluării atmosferice produse de centralele electrice (îmbunătățirea calității combustibililor, tehnici moderne de combustie, depoluarea gazelor de ardere, prognoze de poluare).
3. Metode de prevenire, reducere și combatere a poluării apelor (poluare termică și chimică produsă de efluenții de la termocentrale).
4. Tehnici de prevenire și combatere a poluării fonice în termocentrale.
5. Combaterea poluării materialelor (provocată de centralele electrice) ; protecții.
6. Poluarea solului cauzată de centralele electrice ; metode de reducere și control.
7. Poluarea radioactivă produsă de centralele nucleare ; metode de reducere și control.
8. Poluarea estetică a mediului produsă de instalațiile de producere și transport al energiei electrice.
9. Valorificarea zgurii și cenușilor de termocentrală.
10. Valorificarea produselor rezultate de la depoluarea gazelor de ardere.

X. **Valorificarea resurselor hidroenergetice**

1. Evaluarea potențialului hidroenergetic disponibil al apelor țării în cadrul potențialului general de folosințe al acestora.
2. Concepția de proiectare a amenajărilor hidroenergetice și hidrotehnice complexe pentru obținerea unei valorificări maxime a potențialului hidroenergetic disponibil ; principii generale la alegerea schemei de amenajare pentru obținerea eficienței economice maxime pe economia națională ; dimensionarea optimă tehnico-economic a obiectivelor componente ale amenajării ; soluții tehnice la obiectele componente ale amenajărilor optimizate, ținînd seama de realizarea unui consum minim total de energie înglobată la realizarea (tehnologii de execuție) și exploatarea acestora (cheltuieli de exploatare) ; tehnologii de construcție și montaj care să ducă la consum minim de energie înglobată și durate minime de realizare ; tipizarea de obiecte, părți de obiecte și elemente de construcție și echipamente ; microhidrocentrale realizate în soluții simplificate și cu costuri minime.
3. Transformatoare hidroenergetice pentru necesitățile sistemului energetic național și ale sistemelor energetice interconectate ale țărilor membre CAER (uzine hidroelectrice cu acumulare și pompaj).
4. Realizarea amenajărilor hidroenergetice și hidrotehnice complexe cu consumuri minime de energie înglobată ; tehnologii de execuție a părții de construcții ; folosirea resurselor locale de materiale, inclusiv resurselor de energie ; tehnologii de montaj.
5. Exploatarea amenajărilor hidroenergetice și hidrotehnice complexe date în funcțiune și modernizări ale acestora ; prezentarea experienței de exploatare acumulate cu rezultate deosebite în vederea generalizării, inclusiv folosirea la îmbunătățirea concepției de proiectare ; modernizări pentru creșterea gradului de folosire a potențialului hidroenergetic ; modernizări pentru creșterea gradului de siguranță în exploatare atît a părții de construcție, cît și a echipamentului, în vederea creșterii calității parametrilor energiei furnizate sistemului energetic.
6. Amenajări hidrotehnice din cadrul CTE și CNE ; funcționarea în exploatare a instalațiilor principale ale circuitelor de răcire pentru grupurile de 100—330 MW din CTE ; influența funcționării instalației circuitului de răcire asupra consumurilor de combustibil în CTE ; partea rece a centralelor nucleare ; implementare, optimizare, soluții ; sisteme de măsurare a parametrilor hidraulici și termici din CTE ; optimizarea funcționării centralelor termoelectrice în lanț pe același curs de riu.

CHESTIONAR

în scopul îmbunătăţirii revistei „Energetica" (RE)

În scopul îmbunătăţirii activităţii şi conţinutului RE, vă rugăm să aveţi amabilitatea să ne faceţi cunoscut punctul dv. de vedere prin răspunsurile pe care vă solicităm să le daţi la întrebările următoare:

	DA	NU
1. Consideraţi oportun ca RE să apară sub formă de numere speciale (consacrate unor probleme)?	____	____
2. Consideraţi indicat ca RE să cuprindă scurte informaţii documentare tehnico-ştiinţifice?	____	____
3. Sînteţi de părere că ar fi interesant să se publice mai multe recenzii şi cronici, descrieri de invenţii de interes deosebit, experienţă de exploatare etc.	____	____
4. Consideraţi utilă publicarea de articole care să fie supuse dezbaterii publice?	____	____
5. Consideraţi indicată prezentarea discuţiilor care au loc la mesele rotunde în probleme de energetică?	____	____
6. Sînteţi de părere să se popularizeze în RE oameni ai muncii şi unităţi cu rezultate deosebite, la ocazii jubiliare?	____	____
7. Apreciaţi ca oportun să procedăm ca unele reviste străine, prezentînd fotografiile autorilor şi cîteva date despre autori?	____	____
8. Consideraţi satisfăcător actualul nivel ştiinţific şi ingineresc al RE?	____	____
9. Vă place coperta actuală a RE?	____	____
10. Vă place prezentarea grafică actuală a RE?	____	____
11. Consideraţi utilă publicarea de informaţii despre energetica din alte ţări ale lumii?	____	____
12. Faţă de problemele domeniului energetic, volumul actual al RE (48 p.) îl consideraţi suficient?	____	____
13. Sînteţi de părere că ar trebui să se ţină seama de activitatea publicistică la promovarea în funcţie?	____	____
14. V-a interesat RE?	____	____
15. Vă propuneţi să colaboraţi la RE?	____	____

Eventualele dv. sugestii în legătură cu alte probleme ale RE le vom analiza cu cea mai mare atenţie.

La întrebările nr. 8, 11, 14 şi 15 vă rugăm să daţi şi unele detalii (completînd verso-ul acestei pagini).

Vă rugăm să ne înapoiaţi chiar acest chestionar completat cu răspunsurile dv., indicîndu-ne numele dv., unitatea, adresa şi telefonul.

Vă mulţumim anticipat pentru sprijin.

Colegiul de redacţie

— întrebarea nr. 8

— întrebarea nr 11

— întrebarea nr. 14

— întrebarea nr. 15

Condiții pentru prezentarea articolelor la revista „Energetica"

1. Articolul să aibă maximum 12 pagini — excepțional 15 pagini — de 2000 semne (format DIN A4, la 2 rînduri).

2. Textul articolului se dactilografiază pe o singură față a hîrtiei ; formulele se scriu clar cu simboluri STAS, se numerotează și se înscriu între paranteze rotunde ; indicațiile bibliografice se înscriu între paranteze drepte.

3. Figurile se prezintă în tuș pe calc și o copie xerox ; figurile foto trebuie să fie clare și cu contrast pronunțat.

4. În textul articolului se indică locul tabelelor și figurilor.

5. Bibliografia se prezintă în conformitate cu STAS :

Pentru cărți : numele autorului, inițiala prenumelui, titlul cărții (la cele străine, titlul în original), editura, orașul, anul.

Pentru articole : numele autorului, inițiala prenumelui, titlul (la cele străine, titlul în original), titlul periodicului, tamul, anul, pagina.

6. Tabelele, borderourile figurilor și bibliografia se dactilografiază pe foi separate.

7. Titlul și textul articolului trebuie să fie clare și concise.

8. Articolul trebuie să fie sistematizat ; este obligatorie folosirea de subtitluri cu defalcări chiar pînă la ordinul al treilea ; pentru numerotare se va folosi sistemul zecimal (cifre arabe).

9. Articolul se prezintă în conformitate cu următoarea schemă principială : *introducere* (problematica, oportunitatea articolului), *analiză bibliografică* (stadiul problemei, preocupări în lume), *teoria* (fizic și matematic), *practica* (industrială, experimente de laborator), *comparația teoriei cu practica, concluzii, utilizarea rezultatelor.*

10. Articolul va fi însoțit de un rezumat de 150 cuvinte într-o limbă străină de circulație mondială, la alegerea autorului.

11. Pentru articolele deosebite, redacția va solicita ulterior autorilor respectivi scurte prezentări de 1000 cuvinte, în vederea publicării lor simultan în limba engleză.

12. Autorii garantează și răspund de corectitudinea științifică a articolelor ; redactarea trebuie să respecte regulile stabilite de Academia R.S.R.

13. Corecturile se vor face de către autori în conformitate cu regulile tipografice sau se dau indicații pe foi separate.

14. Articolele primite la redacție nu se înapoiază.

15. Materialele se predau în două exemplare.

10. Articolele se trimit numai semnate de autori ; se vor indica titlurile autorilor și locurile de muncă.

17. Pentru articolele în legătură cu activitatea de serviciu trebuie să se prezinte aprobarea de publicare din partea conducerii unităților respective.

18. Articolele se trimit la redacția revistei ENERGETICA pe următoarea adresă :

Revista Energetica
ICEMENERG
Bd. Energeticienilor nr. 8
74568 București, Sector 3

19. Informații suplimentare se pot cere la telefon : 20.67.30/int. 235

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din R.S. România. Redacţia: Bucureşti, Bd. Energeticienilor 8, Sectorul 3. Telefon: 20 67 30. Instituţiile pot achita abonamentele pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul de viramant nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 3. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Preţul unui exemplar: 5 lei. Taxele poştale achitate conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/7914/1979

I. P. I. c. 1542

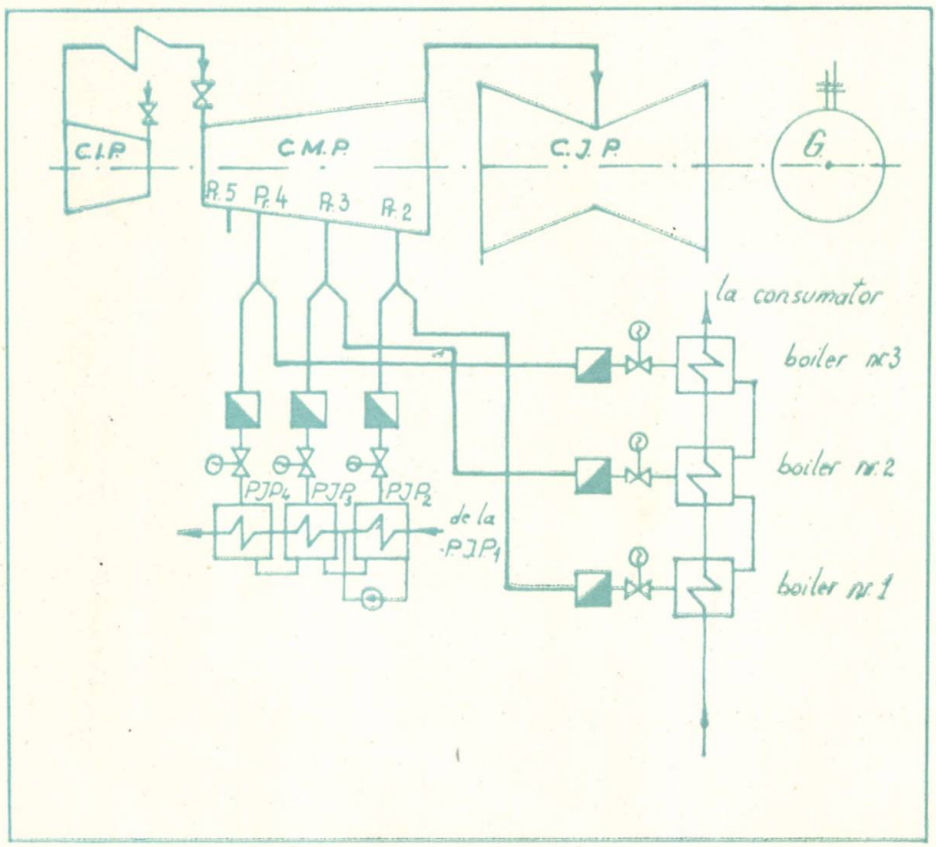
41 401

OPSZÁGOS MŰSZAKI DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT

ICEMENERG

INSTITUTUL DE CERCETĂRI
ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE

BUCUREŞTI Sect. III ● B-dul ENERGETICIENILOR, 8 ● Tel. 21.46.30



ICEMENERG, prin laboratorul de turbine, cicluri termice şi termoficare, realizează cercetări privind reducerea consumurilor specifice de combustibil a agregatelor termoenergetice punînd un accent deosebit pe ridicarea gradului de termoficare urbană şi industrială.

In acest sens oferă soluţii pentru :

- Trecerea în regim de termoficare urbană a blocurilor în condensaţie;
- Extracţii suplimentare de abur tehnologic din prizele fixe ale turbinelor;
- Trecerea turbinelor de termoficare la funcţionarea cu vid înrăutăţit;
- Inlocuirea staţiilor de reducere-răcire prin folosirea de termocompresoare cu jet de abur.

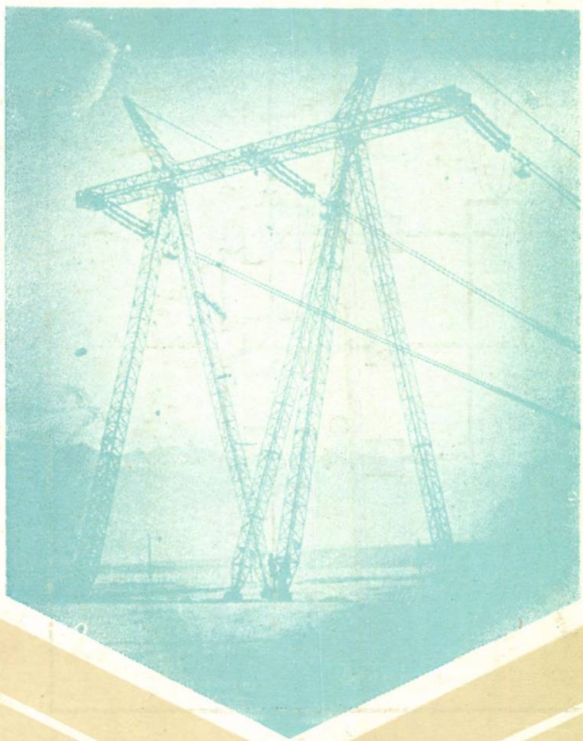
ROMELECTRO

INTREPRINDERE PENTRU
COMERT EXTERIOR

B-dul Lacul Tei, nr. 1 sector 2
Bucuresti 7000, c. p. 1 – 736
tel 12 13 26 – 12 05 51
TELEX : 10 449 roel r
BUCURESTI – ROMANIA

EXPORT • IMPORT • INSTALATII ENERGETICE • ENGINEERING • CONSULTING • ANTREPRIZA GENERALA

AUG 1 7 1989



Romelectro Foreign Trade Company carries out services in the power field ranging from studies and designs up to projects commissioning.

EXPORTS :

- high, medium and low voltage lines ;
- transformer and distribution substations and points ;
- poles and fittings for the high, medium and low voltage lines ;
- rural electrification equipment ;
- erection and assembling of power projects carreid out abroad for thermo and hydropower stations, special civil works (cooling towers, chimneys), dams, hydrotechnical constructions etc. ; export and transport of electric power ;
- studies, designs, technic assistance, experts accounts in the power field as well as other specific engineering jobs.

IMPORTS :

- complex power installation and equipment for thermo and hydropower generating plants ;
- specific equipment and components for the power field, relevan spare parts included ;
- equipment, apparata and materials for the erection of high, medium and low voltage lines and for turn-key deliveries.

E 2039

Victor

MW

10

R

REFERÁLVA

VOLUMUL XXIX
BUCUREŞTI
OCTOMBRIE 1981

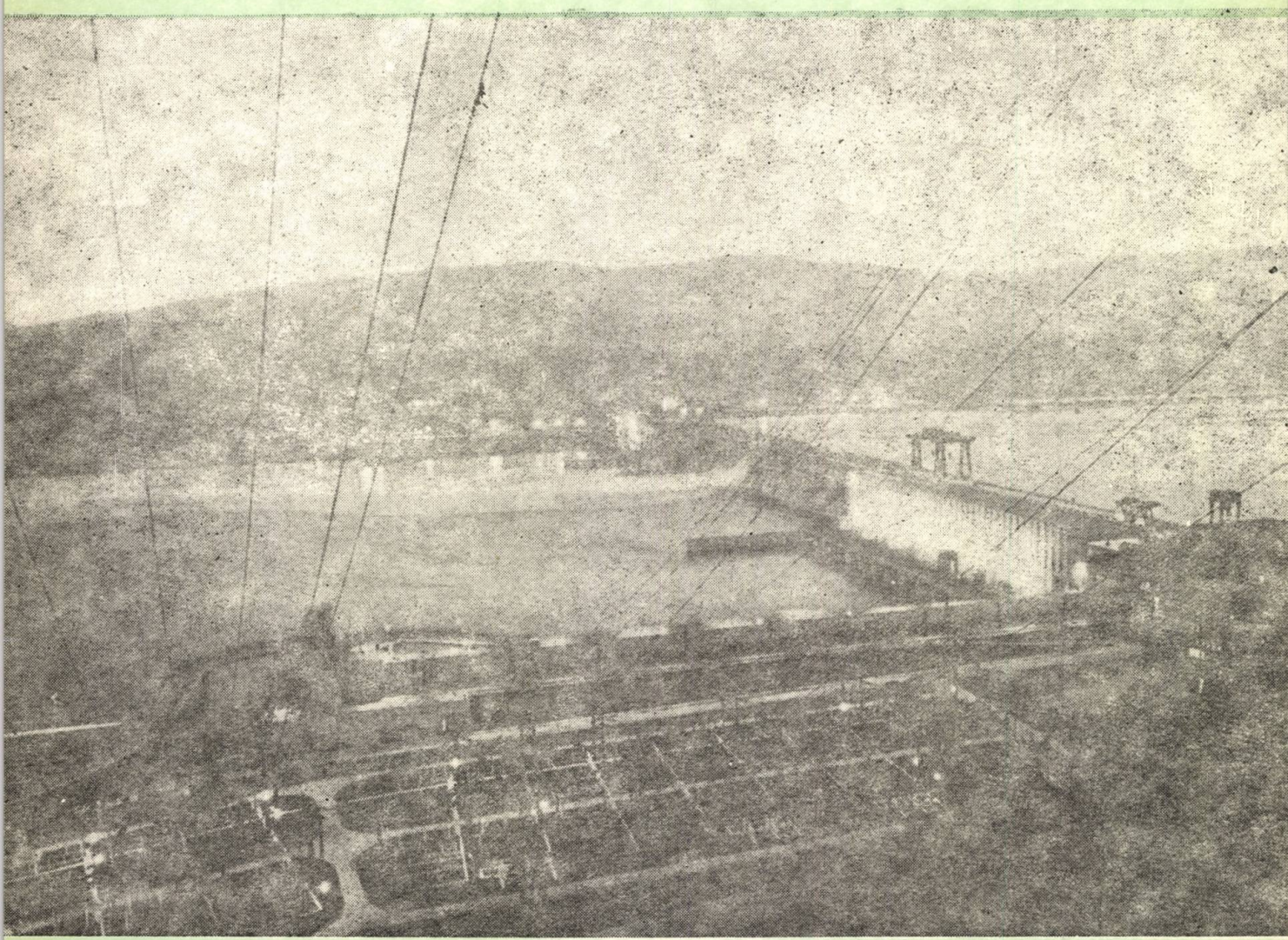
energetica

0 6 12 18 24

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII
ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest, Romania,
Phone 147270, Telex 11–443 i.s.p.h. r



Performs :

Studies and designs ; investigation works ; laboratory studies ; consulting-engineering.

Hydroelectric development schemes ; hidroelectric power stations ; dams of all types ; navigation locks ; underground structures ; intakes, canals and other hydraulic structures.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

29 Nr. 10 octombrie

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883

Cuprinsul

		Pag.
C. Dinculescu	**Centenarul reorganizării Institutului Politehnic Bucureşti**	409—412
Al. Diacon, C. Moţoiu, V. Nitu, I. Purica şi C. I. Staicu	**Contribuţia învăţămîntului superior la dezvoltarea energeticii româneşti**	413—418
M. M. Dăncilă	**Bilanţul energetic — instrument de analiză cantitativă şi calitativă a eficienţei transformării şi utilizării resurselor energetice**	419—426
M. Moga	**Relaţii practice de calcul pentru stabilirea regimului economic de funcţionare a instalaţiilor de producere a aerului comprimat din întreprinderile industriale**	426—429
V. Ghia	**Influenţa arderii păcurii pulverizate cu abur asupra căldurii utile cedate în cuptoarele dotate cu arzătoare mici**	430—435
N. Pănoiu şi *L. Mihăescu*	**Posibilităţi de mărire a debitului morilor-ventilator de debite mari**	435—441
L. Preda, A. Caba şi *P. Tălmaciu*	**Influenţa sarcinilor nesimetrice asupra pierderilor de energie electrică în instalaţiile electrice trifazate cu patru conductoare**	441—447
R. Savulian, C. Beschea ş.a.	**Înregistratoare de evenimente cu microcalculator la CTE Rovinari**	447—451
C. Oancea, E. Zamfir şi *Cr. Gheorghiţă*	**Studiul aportului de energie solară pe suprafeţe plane de captare cu orientări şi unghiuri de înclinare diferite**	451—456
C. Dumitru	**Estimarea cantităţii de apă evaporată în turnurile de răcire**	456—459

COLEGIUL DE REDACŢIE

dr. ing. **Gh. Bălan** (redactor responsabil adjunct), ing. **P. Cartianu**, ing. **M. M. Dăncilă**, ing. **H. Furtunescu**, ing. **N. Georgian**, dr. ing. **Gh. Luca**, dr. chim. **Maria Maftei**, ing. **B. Marcu**, dr. ing. **A. Măcriş**, ing. **I. Măiereanu** (redactor responsabil adjunct), dr. ing. **C. Mihăileanu** (redactor responsabil), prof. dr. doc. **V. I. Nitu**, dr. ing. **E. Pavel**, dr. ing. **Th. Popa**, dr. ing. **C. I. Staicu** (secretar de redacţie).

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 620.98 :621.3.017

М. М. Дэнчилэ: **Энергетический баланс — инструмент количественного и качественного анализа эффективности преобразования и использования энергетических источников.**

Проводится короткое представление баланса первичных энергетических ресурсов с их распределением во внутреннем потреблении энергии, отмечая полезную энергию и потери на протяжении процессов и до окончательного использования.

Energetica 29 (1981), № 10, стр. 419—426

ДК 620.173 :621.311.003

М. Мога: **Практические расчетные отношения для установления экономического режима работы установок по производству сжатого воздуха на промышленных предприятиях.**

Теоретически прорабатывается проблема возможности получения некоторых экономий электрической энергии на компрессорных станциях путем отключения приводного двигателя при холостом ходу. Устанавливаются условия, которые должны выполняться для применения этого мероприятия.

Energetica 29 (1981) № 10, стр. 426—429

ДК 621.311.87 :665.5 :662.61

В. Гия: **Влияние сжигания мазута, распыляемого паром на полезное тепло, отдаваемое печами, снабженными небольшими горелками.**

На основе метода расчета уточняется влияние пара, используемого при распыливании мазута на теоретическую температуру сгорания используемого тепла и коэффициента черноты выхлопных газов. Анализируется также эффект парораспыления, как фактор роста потерь через окисленный металл, сравнивая с действием окисления, производимым при мжигании болотного газа.

Energetica 29 (1981), № 10, стр. 430—435

ДК 621.34 :621.63 :662.61

И. Пэнойу и *Л. Михэеску:* **Возможности повышения расхода вентиляторных мельниц больших расходов.**

Для компенсации снижения расхода мельниц из-за ухудшения качества топлива (рост содержания золы и влажности) уменьшается тонкость помола и эффектом является время сгорания частиц и, значит, увеличение потерь путем неполного сгорания. В целях снижения этих потерь необходимо, чтобы сжигающие установки имели бы послесжигающие решетки и специальные горелки, которые могли бы увеличить время простоя пылевых частиц в объеме топки. Снижение тонкости помола можно произвести упрощением пылеотделителей или даже отказом от этого.

Energetica 29 (1981), № 10, стр. 435—441

ДК 621.3.016.313 :621.3.017

Л. Преда, А. Каба и *П. Тэлмачу:* **Влияние несимметричных нагрузок на потери электрической энергии на трехфазных электрических четырехпроводных установках.**

Учитывая актуальный энергетический кризис авторы предлагают введение тарификации, со ответственно измерение энергии несимметрии и, на этой основе, периодического соуществления (2 раза в год) натурального симметрирования нагрузок путем простого замена соединений неуравновешенных нагрузок другими фазами, что приводит при небольших расходах к значительным уменьшениям потерь. Предлагается также введение понятия энергетический эквивалент мощности несимметрии для отражения связи между мощностью несимметрии и активной мощностью, необходимо ее излишнее потребление для покрытия потерь из-за существования несимметричных нагрузок.

Energetica 29 (1981), № 10, стр. 441—447

ДК 621.311.22/23.:681.177

Р. Савулъяк, К., Веска и др.: **Регистраторы событий микровычислительными машинами на ТЭЦ Ровинарь.**

Energetica 29 (1981), № 10, стр. 447—451

ДК 621.47.004.1

К. Оанча, Е. Замфир и *Кр. Георгицэ:* **Исследование, касающиеся вклада солнечной энергии в плоские поверхности улавливания с различными направлениями и углами наклона.**

Представляется оценка вклада солнечной энергии и сравнительное исследование этого вклада в поверхность улавливания при различных направлениях и углах наклона в целях получения максимальной эффективности улавливания солнечной энергии и соответственно как можно более лучший качественный показатель для установки или технологический процесс, в котором используется.

Energetica 29 (1981), № 10, стр. 451—456

ДК 621.565 :93/94 :621.187.12

К. Думитру: **Оценка количества воды, испаряемой в градирнях.**

Работа поставляет ряд расчетов и номограмму для приблизительной оценки (±10%) количества воды, испаряемого из градирни для расхода рециркуляционной воды, достигая до 180000 м³ час, температуры воздуха между — 10°С и 40°С и интервалы охлаждения до 15 град.

Energetica 29 (1981), № 10, стр. 456—459

INHALTSVERZEICHNIS

DK 620.98 :621.3.017

M. M. Dăncilă: **Die Energiebilanz — ein Instrument zur Durchführung der quantitativen und qualitativen Analyse der Wirksamkeit bei der Umwandlung und Verwendung der Energiequellen**

Es wird eine kurze Beschreibung der Bilanz der Primärenergiequellen, ihre Aufteilung für den einheimischen Energieverbrauch durchgeführt und es werden die nützliche Energie sowie die Verluste während der Prozesse bis zur Endanwendung hervorgehoben.

Energetica 29 (1981), H. 10. S. 419—426

DK 620.173 :621.311.003

M. Moga: **Praktische Berechnungsbeziehungen zur Bestimmung des ökonomischen Betriebsregimes der Druckluft-erzeugungs-Anlagen aus den Industriebetrieben**

Die Frage der möglichen Elektroenergieeinsparnisse in Kompressoranlagen durch die Anwendung der Antriebsmotoren während des Leerlaufs wird theoretisch erörtert. Die zu erfüllenden Bedingungen für die Anwendung dieser Massnahmen werden bestimmt.

Energetica 29 (1981), H. 10, S. 426—429

DK 621.311.87 :665.5 :662.61

V. Ghia: **Der Einfluss der Verbrennung des mit Wasserdampf zerstäubten Öls auf die den Öfen mit kleinen Brennern abgegebene Wärmemenge**

Auf Grund einer Berechnungsmethode wird der Einfluss des zur Zerstäubungsvebrennung des Öls verwendeten Wasserdampfes auf die theoretischen Verbrennungstemperatur, auf die anwendbaren Wärmemenge und auf den Schwärzegehalt der Brenngase geklärt. Es wird zugleich der Einfluss des Zerstäubungsdampfes als Zuwachsfaktor der Verluste durch oxydiertes Metall analysiert und ein Vergleich mit der durch die Verbrennung des Methangases erzeugten Oxydation aufgestellt.

Energetica 29 (1981), H. 10, S. 430—435

DK 621.34 :621.63 :662.61

N. Pănoi uund *L. Mihăescu*: **Möglichkeiten zur Erhöhung des Durchflusses der Ventilatormühlen grossen Durchflusses**

Für den Ausgleich des Durchflusses der Mühlen wegen der Verminderung der Qualität des Brennstoffes (der Zuwachs des Asche- und Wassergehalts), wird die Mahlfeinheit verfeinert und somit wird die Brennzeit der Partikel verlängert und die Verluste durch unvollständige Verbrennung vergrössert. Um diese Verluste zu verkleinern müssen die Verbrennungsanlagen mit Nachverbrennungsrosten versehen werden oder mit speziellen Brennern, die den Aufenhalt der Staubpartikeln im Brennerraum verlängern sollen. Die Mahlfeinheit kann durch die Vereinfachung des Staubabscheiderbaus oder letztens durch den Verzicht auf die Abscheider vergrössert werden.

Energetica 29 (1981), H. 10, S. 435–441

DK 621.3.016.313 :621.3.017

L. Preda, A. Caba und *P. Tălmaciu*: **Die Beeinflussung der Elektroenergieverluste aus dreiphasigen Elektroenergieanlagen mit vier Leitern durch unsymmetrische Ladungen**

Die Verfasser versuchen, angesichts der gegenwärtigen Energiekrise, die Verrechnung, d.h. die Messung der unsymmetrischen Energie einzuführen und danach den periodischen (zwei Mal jährlich) Ausgleich der Ladungen durchzuführen, u.zw. durch den Anschluss der unausgeglichenen Ladungen an andere Phasen was zu wichtigen preiswertigeren Verlustherabsetzungen führt. Es wird die Einführung des Ausdrucks Energieäquivalent der unsymmetrischen Leistung vorgeschlagen, um die Verbindung zwischen der unausgeglichenen Leistung und der aktiven, die zusätzlich verbraucht werden muss um die wegen den unausgeglichenen Ladungen erschienenen Verluste zu decken.

Energetica 29 (1981), H. 10, S. 441–447

DK 621.311.22/23 :681.177

R. Savulian, C. Beschea u.a. **Einrichtungen zur Aufzeichnung von Ereignissen mit Mikrocomputer beim Wärmekraftwerk Rovinari**

Energetica 29 (1981), H. 10, S. 447–451

DK 621.47.004.1

C. Oancea, E. Zamfir und *Cr. Gheorghiță*: **Das Studium der auf flachen Kollektorflächen mit verschiedenen Orientierungen und Neigungswinkeln einfallenden Sonnenenergiemenge**

Es wird eine Einschätzung der einfallenden Sonnenenergiemenge gegeben und eine vergleichende Studie dieser für verschiedene Orientierungen und Neigungswinkeln aufgestellt um eine Maximalleistung bei der Aufnahme der Sonnenenergie zu erreichen sowie einen guten Wirkungsgrad für die Endverbraucher.

Energetica 29 (1981), H. 10, S. 451–456

DK 621.565.93/94 :621.187.12

C. Dumitru: **Die Einschätzung der in Kühltürmen verdunsteten Wassermenge**

Es wird eine Berechnungsbeziehung und ein Nomogramm für die annähernde Einschätzung ($\pm 10\%$) der im Inneren der Kühltürmen verdunsteten Wassermenge für einen Wasserrückführungsdruchfluss von 180.000 m³/h, Lufttemperaturwerte zwischen — 10°C und 40°C und Kühlintervalle bis zu 15 grd gegeben.

Energetica 29 (1981), H. 10, S. 456–459

SOMMAIRE

CD 620.98 :621.3.017

M. M. Dăncilă: **Le bilan énergétique — instrument d'analyse quantitative et qualitative de l'efficacité de la transformation et de l'utilisation des ressources énergétiques**

L'auteur présente la balance des ressources d'énergie primaire et leur répartition dans la consommation interne de l'énergie, en méttant en evidence l'énergie utile et les pertes au cours des procèssus jusqu'à leur utilisation finale.

Energetica 29 (1981), no. 10, p. 419–426

CD 620.183 :621.311.003

M. Moga: **Relations pratiques de calcul pour établir le régime économique de fonctionnement des installations de production de l'air comprimé dans les entreprises industrielles**

L'article traite, du point de vue théorique, le problème de la possibilité de réaliser des gains de puissance dans les postes de compresseurs par la déconnexion des moteurs d'entraînement dans le cas de la marche à vide de ceux-ci. On établit les conditions qu'on doit respecter pour l'application de ces mesures.

Energetica 29 (10981), no. 10, p. 426–429

CD 621.311.87 :665.5 :662.61

V. Ghia: **L'influence de la combustion du fuel-oil pulvérisé à l'aide des vapeurs sur la chaleur utile cédée aux fours à petits brûleurs**

A l'aide d'une méthode de calcul, on explique l'influence de la vapeur utilisée à la pulvérisation du fuel-oil sur la température théorique de combustion, la chaleur utilisable et le coefficient de noirceur des gaz de combustion. On y analyse aussi l'effet de la vapeur de pulvérisation en tant que facteur d'accroissement des pertes par le métal oxydé, par comparaison avec l'action d'oxydation produite par la combustion du gaz méthane.

Energetica 29 (1981), no. 10, p. 430–435

CD 621.34 :621.63 :662.61

N. Pănoiu et *L. Mihăescu*: **Possibilités d'accroissement du débit des moulins-ventilateurs à débit élevé**

Pour compenser la diminution du débit des moulins à cause de la détérioration de la qualité du combustible (accroissement du contenu de cendre et de l'humidité), on réduit la finesse de broyage, ayant l'effet du prolongement de la durée de combustion des particules et, en conséquence, de l'augmentation des pertes par combustion incomplète. En vue de diminuer ces pertes, il est nécessaire que les installations de combustion soient équippées avec des grilles d'après combustion ou avec des brûleurs spéciaux qui peuvent augmenter la période de stationnement des particules de poussière dans la chambre de combustion. On peut réduire la finesse de broyage en simplifiant les séparateurs de poussière ou même en renoncant à ceux-ci.

Energetica 29 (1981), no. 10, p. 435–441

CD 621.3.016.313 :621.3.017

L. Preda, A. Caba et *P. Tălmaciu*: **L'influence de charges non-symétriques sur les pertes d'énergie électrique dans les installations triphasées à quatre conducteurs**

Compte-tenu de la crise énergétique actuelle, les auteurs proposent l'introduction de la tarification, c'est à dire du mesurage de l'énergie de non-symétrie et, sur cette base, la réalisation périodique (bianuellement) de la symétrisation naturelle des charges, par le simple changement des raccords des charges déséquilibrées à d'autres phases, ce qui mène, avec des dépenses réduites, à d'importantes diminutions des pertes. On propose, également, d'introduire la notion d'équivalent énergétique de la puissance de non-symétrie afin de refléter la liaison entre la puissance de non-symé-

trie et la puissance active qui doit être consommée supplémentairement pour compenser les pertes dues à l'existence des charges non-symétriqeus.

Eneretica 29 (1981), no. 10, p. 441–447

CD 621.311.22/23 :681.177

R. Savulian, C. Beschea et a.: **Enrégistrateur d'évenements à l'aide d'un microcalculateur à la centrale thermoélectrique de Rovinari**

Energetica 29 (1981), no. 10, p. 447–451

CD 621.47.004.1

C. Oancea, E. Zamfir et *Cr. Gheorghiță*: **L'étude de l'apport de l'énergie solaire sur des surfaces planes de captation à différentes orientations et angles d'inclinaison**

Energetica 29 (1981), no. 10, p. 451–456

CD 621.565.93/94 :621.187.12

C. Dumitru: **Estimation de la quantité d'eau évaporée dans les tours de refroidissement**

L'article fournit une relation de calcul et une nomogramme pour l'estimation approximative (±10%) de la quantité d'eau évaporée dans les tours de refroidissement, pour des débits d'eau recyclée qui atteignent 180 000 m³/h, des températures de l'air de −10°C à 40°C et intervalles de refroidissement jusqu'à 15 grd.

Energetica 29 (1981), no. 10, p. 456–459

CONTENTS

DC 620.98 :621.3.017

M. M. Dăncilă: **Energy Balance — Quantitative and Qualitative Analysis Instrument for the Conversion and Use Efficiency of Energy Resources**

The primary energy resources balance, their repartition within the internal energy consumption outlining the useful energy and the losses during several processes until the final utilization are concisely presented.

Energetica 29 (1981), nr. 10, p. 419–426

DC 620.173 :621.311.003

M. Moga: **Practical Calculation Relations for Establishing the Economic Operation Regime of Compressed Air Generating Equipment in Industrial Enterprises**

The problem of achieveing some electric energy economies in the compressed air generating equipment by off-switching driving motors during idle time is theoretically presented. The conditions to be met in order to comply with this requirement are set.

Energetica 29 (1981), nr. 10, p. 426–429

DC 621.311.87 :665.5 :662.61

V. Ghia: **The Influence of Steam Pulverized Oil Burning Upon the Useful Heat Given to Ovens with Small Burners**

On the basis of calculation method the influence of the steam for coal pulverization upon the theoretical burning temperature, the useful heat and the darkness of the burning gases is explained. The effect of the pulverization steam as increase factor of losses by stained metal, compared to the staining caused by methane burning is analysed.

Energetica 29 (1971), nr. 10, p. 430–435

DC 621.34 :621.63 :662.61

N. Pănoiu and *L. Mihăescu*: **Possibilities to Increase the Efficiency of Large Flow Fan Mills**

In order to compensate the mills efficiency decrease as a result of the lower quality of fuel (increase of the ash and water content) the grinding fineness in reduced resulting in an increase of the particles burning time und thus the increase of losses due to incomplete burning. In order to reduce these losses the burning installations must be equipped with post-burning grills or special burners in order to increase the dust particles standing time within the burning chamber. The grinding fineness can be reduced by simplifying dust separators or ultimately, even by giving them up.

Energetica 29 (1981), nr. 10, p. 435–441

DC 621.3.016.313 :621.3.017

L. Preda, A. Caba and *P. Tălmaciu*: **The Influence of Non-Symmetrical Loads Upon Energy Losses in Three-Phase Electric Installations with Four Conductors**

Considering the present energy crisis, the authors propose the introducing of payment, i.e. of measuring non-symmetrical energy and on this basis, to create (twice a year) a natural loads symmetry by the simple exchange of connections of desequilibrated phases loads to other phases enabling thus important losses reductions and low costs. They also propose a new term: energy equivalent of the non-symmetric power which would suggest the connection between the non-symmetry power and the active power needed to be further consumed in order to cover losses due to non-symmetric loads.

Energetica 29 (1981), nr. 10, p. 441–447

DC 621.311.22/23 :681.177

R. Savulian, C. Beschea, a.o.: **Microcomputer Events Registration at the Thermal Power Plant Rovinari**

Energetica 29 (1981), nr. 10, p. 447–451

DC 621.47.004.1

C. Oancea, E. Zamfir and *Cr. Gheorghiță*: **Study of the Solar Energy Quantity Collected on Flat Surfaces With Different Directioning and Angles**

An evaluation of the solar energy quantity and a comparative study of this quantity on a collection surface with different directions and angles in order to obtain a maximum solar energy collection efficiency and thus an increased efficiency of the installation and technological process which uses it.

Energetica 29 (1981), nr. 10, p. 451–456

DC 621.565.93/94 :621.187.12

C. Dumitru: **Estimation of the Water Quantity Evaporated Within Cooling Towers**

The paper gives a calculation relation and a nomogram for an approximate estimation (± 10%) of the water quantity evaporated in a cooling tower for recirculated water flows as high as 180,000 m³/h, air temperature range of −10°C and 40°C and cooling intervals until 15 degrees.

Energetica 29 (1981), nr. 10, p. 456–459

Centenarul reorganizării Institutului politehnic din București

În anul 1981 se împlinesc 100 de ani de la reorganizarea învățământului politehnic din București, prin înființarea Școlii naționale de poduri și șosele, transformată în anul 1920 în Școala politehnică, iar în 1948 în Institutul politehnic din București, care, prin activitatea lor din acești 100 de ani, au fost cele mai înalte școli de învățământ tehnic superior din țara noastră.

Trebuie însă amintit că, pentru a se ajunge la posibilitatea reorganizării, în anul 1881, a unei școli tehnice superioare la nivelul marilor școli din țările cu tehnică avansată, a fost necesar să se parcurgă un drum anevoios, cu multe greutăți, pe care numai stăruința și patriotismul marilor predecesori au reușit să le învingă.

Primul învățământ tehnic de inginerie în limba română a fost înființat de Gheorghe Lazăr în anul 1818 la Colegiul de la Sfîntul Sava. La această școală au învățat tineri care au desfășurat activități importante în viața principatelor române, ca Ion Heliade Rădulescu, Eufrosin Poteca, Petrache Poenaru, Ion Pandele și alții. Profesorii și elevii școlii s-au alăturat în 1821 la lupta de eliberare socială și națională dusă de Tudor Vladimirescu, iar Petrache Poenaru a continuat opera lui Gheorghe Lazăr, după decesul acestuia, dezvoltînd cursurile cu profil ingineresc și de arhitectură.

Frămîntările politice, războaiele ruso-turce, revoluția din 1848, războiul Crimeii din 1853, ocuparea țării de armate străine influențează desfășurarea activităților de învățământ. Școlile funcționează cu întreruperi, sau dispar, se înființează școli de conductori de lucrări publice cu programe de nivel tehnic mediu, pînă în anul 1864, cînd domnitorul Alexandru Ioan Cuza înființează „Școala de poduri și șosele, mine și arhitectură", a cărei funcționare este întreruptă după abdicarea domnitorului în 1866, absolvenții ei devenind conductori tehnici.

În anul 1867 se înființează „Școala de poduri, șosele și mine", cu un program de cinci ani de studii, din care un an preparator, trei ani de cursuri comune și ultimul an de specializare în două direcții : Secția de poduri și șosele, Secția de mine, iar în primii ani școala a pregătit conductori de lucrări, pînă în anul 1875 cînd s-au reorganizat cursurile, trecînd la durata de studii de 4 ani. Primele diplome de inginer se eliberează în anul 1879 elevilor care au terminat „cu distincție" cursurile școlii, ceilalți primind certificate de absolvire.

După războiul de independență din 1877, rolul inginerilor în viața economică devine tot mai important, se dezvoltă construcția de drumuri, poduri și căi ferate, se încep primele construcții de întreprinderi industriale, cerînd un personal tehnic cu pregătire superioară.

Anul 1881 reprezintă o piatră de hotar în istoria tehnicii din țara noastră. În acest an se pune în funcțiune linia de cale ferată Buzău—Mărășești, prima linie proiectată și construită de ingineri români, se înființează „Societatea politehnică din România", cu caracter științific-academic și se înființează „Școala națională de poduri și șosele" din București, sub conducerea inginerului Gheorghe Duca, mare organizator și constructor de căi ferate, care pune școala pe picior de egalitate cu școlile de ingineri din țările dezvoltate tehnic din străinătate.

Structurată pe o durată a studiilor de 5 ani, din care un an preparator, cu o selecție foarte exigentă a elevilor admiși în anul I, de 10—15 pe o promoție, desfășurînd cursuri de înalt nivel științific și tehnic, cu o disciplină severă în activitățile teoretice și practice, folosind ca profesori pe cei mai de frunte oameni de

știință și ingineri din țară, Școala națională de poduri și șosele din București a reprezentat epoca de înaltă dezvoltare și consolidare a învățământului tehnic superior din țara noastră.

În această școală au predat profesori de frunte ca Spiru Haret, David Emanuel, Anghel Saligny, Gheorghe Duca, Elie Radu, Ion Ionescu, Andrei Ioachimescu, Gheorghe Filipescu, Constantin Istrate, C. M. Mironescu, Grigore Cerkez și mulți alții ale căror eforturi didactice, unite cu munca disciplinată a studenților, au condus la crearea unui corp tehnic inginerese de înalt nivel, diploma de inginer eliberată în România fiind recunoscută ca echivalentă cu cele obținute la cele mai înalte școli de inginerie din străinătate.

Prin eforturile lui Gheorghe Duca se construiește în 1886 localul Școlii din strada Polizu colț cu Calea Griviței, local care funcționează și astăzi, cu multe dezvoltări și adăugiri succesive.

Școala de poduri și șosele din București a ținut pasul cu dezvoltarea tehnică și economică a țării din acel timp.

Încă din primii ani ai secolului XX s-a pus problema introducerii de noi specialități de inginerie, dar evenimentele politice, economice și sociale ale acelei epoci au decalat rezolvarea acestei probleme pînă la terminarea primului război mondial. Totuși, școala a introdus succesiv o serie de cursuri de bază din alte specialități, ca Locomotive și mașini cu abur, Construcția de mașini, Hidraulică și mașini hidraulice, Edilitate, Petrol, Navigație și altele care au premers la reorganizarea școlii.

În anul 1920, Școala națională de poduri și șosele a fost transformată în *„Școala politehnică din București"*, avînd la început patru secții (facultăți) de specialitate: Construcții, Electromecanică, Mine și metalurgie, Industrială, cu durata studiilor de 5 ani, din care un an preparator și selecționare prin concurs de admitere. Nivelul de predare teoretică corespunzătoare înaltelor școli tehnice din apus, activitățile practice de laborator, elaborarea de proiecte, activitatea practică de șase luni în producție au făcut din această instituție cea mai înaltă școală tehnică superioară din țară în intervalul 1920—1948.

Școala a primit dezvoltări succesive menite să contribuie la continua ei adaptare la evoluția tehnicii și nevoilor țării. Astfel, în 1923 Școala superioară de silvicultură a fost alipită Școlii Politehnice din București ca a 5-a secție (facultate) de Silvicultură. În anul 1924, în cadrul secției de Electromecanică se creează prima subsecție de specialitate de Telegrafie; în anul 1926, în cadrul secției de construcții se creează subsecția de Topografie și cadastru; în anul 1929, în cadrul secției de Electromecanică se creează subsecția de Aviație.

În anul 1937 se contopesc în Școala Politehnică „Institutul de chimie tehnologică" și „Institutul Electrotehnic" de la Universitatea din București, iar în anul 1938 Școala Politehnică este transformată în *„Politehnica din București"*, în care se încorporează, ca facultăți, academiile de Arhitectură și de Agronomie din București, care funcționau pînă atunci independent, astfel că în intervalul 1938—1948 Politehnica din București a funcționat cu 7 facultăți: Construcții, Electromecanică, Mine și metalurgie, Silvicultură, Chimie industrială, Agronomie, Arhitectură.

Durata cursurilor era de 5 ani, din care 9 semestre cursuri și un semestru pentru proiectul de diplomă. Se introduc „grupele de specializare" în cadrul unor facultăți, care în anul 1948 erau:

— la Facultatea de Electromecanică: Electrotehnică, Electrocomunicații, Mecanică, Aviație, Armament, Tehnică navală;
— la Facultatea de Mine și metalurgie: Mine, Metalurgie;
— la Facultatea de Chimie industrială: Chimie, Petrol, Industrii alimentare, Textile.

Fiecare facultate era condusă de un decan, ajutat de Consiliul profesoral de facultate, iar Politehnica era condusă de rector, ajutat de senatul format din rector, prorector, decanii facultăților, plus cîte un profesor de fiecare facultate ales pe termen de 2 ani, organizare care a rămas în această formă pînă în anul 1948.

În Politehnică se dezvoltă cercetarea științifică și tehnică și se organizează pregătirea prin doctorat (1937) acordînd titlul științific de doctor inginer.

În cadrul acestor facultăți, secții și grupe de specializare s-a dezvoltat și învățământul de Electrotehnică și Energetică. Primul curs de Electrotehnică pentru

ingineri a fost predat din anul 1905 de N. Vasilescu-Karpen în Școala de poduri și șosele și din 1920 în Școala Politehnică, în care s-au dezvoltat cursurile de Mașini electrice, Măsuri electrice, Cazane cu abur, Mașini cu abur și turbine, Motoare termice, Mașini hidraulice, Centrale electrice, transportul și distribuția energiei electrice, Tracțiune electrică, Materiale electrotehnice, Aparate electrice, Construcții hidrotehnice, discipline care au contribuit la formarea unui valoros mănunchi de specialiști cu care s-au putut rezolva cu succes multe probleme spinoase din electrificarea țării noastre.

Dar adevărata dezvoltare, pe baze științifice moderne, a învățământului tehnic superior în Politehnica bucureșteană s-a realizat în etapa construcției socialiste în țara noastră.

Victoria insurecției armate din august 1944 și reforma învățământului din august 1948 marchează trecerea de la vechea școală burgheză la școala nouă, socialistă. Politehnica din București este transformată în 1948 în *„Institutul politehnic din București"*, care primește o serie de dezvoltări succesive, ajungînd la amploarea deosebită pe care o are în prezent.

O serie de facultăți, secții sau grupe de specializare din vechea Politehnică se desprind din ea și formează institute sau facultăți separate. Facultățile de Construcții, Mine, Silvicultură, Arhitectură, Agronomie trec în institute de învățămînt superior independente, iar subsecțiile de Petrol, Industrii alimentare, Textile, Tehnică navală trec la institute independente de profil sau formează facultăți de specialitate în alte institute tehnice superioare.

În anul 1948 Institutul politehnic București a funcționat cu 4 facultăți: Chimie industrială, Electrotehnică, Mecanică, Textile, divizate pe secții de specialitate. Succesiv s-au înființat noi facultăți, astfel că în 1981 Institutul funcționează cu 12 facultăți și 5 tipuri de învățămînt, cu 53 direcții de specializare.

Învățământul este orientat direct către producție, ținînd pasul cu evoluția rapidă a nevoilor terenului pentru a forma ingineri cu un cuprins larg de activitate, dar și cu o pregătire temeinică de specialitate.

În acest sens se folosesc diferite forme de învățîmînt tehnic superior : cursuri de zi, cursuri serale, cursuri post-universitare, cursuri cu durată redusă, cursuri de subingineri, cursuri predate în institut și cursuri predate în întreprinderi, învățământul dovedind o mare mobilitate pentru a obține rezultate optime în diferite situații specifice.

Durata procesului de învățămînt cu studenții ingineri este de 5 ani la cursurile de zi și 6 ani la cele serale, respectiv la studenții subingineri de 3 ani la cursurile de zi și 4 ani la seral.

S-a realizat o strînsă legătură între învățămînt, cercetare și producție, atît pentru studenți, cît și pentru cadrele didactice, rezultatele dovedindu-se a fi dintre cele mai bune.

Cercetarea științifică este amplificată printr-o amplă desfășurare a activităților la doctorat în numeroase direcții de specializare, prin contracte cu producția, prin antrenarea studenților în cercetarea științifică.

În perioada 1920—1981, în Politehnica și Institutul politehnic din București au activat un mare număr de cadre didactice de valoare, care au constituit fondul de aur al școlii. Citãm dintre cei care nu mai sînt în viață pe acad. V. Vasilescu-Karpen, acad. C. Budeanu, acad. I. S. Gheorghiu, acad. Gh. Nicolau, acad. Costin Nenițescu, acad. Cristea Mateescu, acad. Coriolan Drăgulescu, profesorii Gh. Țițeica, D. Pompei, Al. Pantazi, N. Ciorănescu, Dorin Pavel și mulți alții care au depus eforturi susținute pentru pregătirea temeinică a numeroase generații de ingineri.

În intervalul 1948—1981, acțiunile de perfecționare a învățământului tehnic superior din Institutul politehnic București au condus la înființarea mai multor facultăți și secții sau direcții de specializare, la desființarea sau contopirea altora, la schimbări în denumirea lor; expunerea detaliată a acestor acțiuni ar depăși cadrul acestui material.

Ne vom limita a spune că la centenarul reorganizării învățământului politehnic din București, în anul 1981, în Institutul politehnic funcționează 12 facultăți, și anume: Electrotehnică, Energetică, Automatică, Electronică și telecomunicații, Mecanică, Aeronave, Mecanică agricolă, Tehnologia construcțiilor de mașini, Metalurgie, Transporturi, Tehnologie chimică, Utilaje și ingineria proceselor chimice,

în care activează peste 31.000 persoane, dintre care circa 28.500 studenţi români şi străini, plus doctoranzi, cercetători, cadre didactice, personal tehnic şi de laborator, personal auxiliar.

Prin grija Partidului Comunist Român, în special a tovarăşului secretar general Nicolae Ceauşescu, în anul 1965 s-a aprobat proiectul pentru realizarea celei mai mari construcţii de învăţămînt superior din ţară : noul local al Institutul politehnic din Bucureşti, cu o suprafaţă utilă de cca 120.000 mp, respectiv 214.000 mp suprafaţă desfăşurată, de edificat în două etape, pe un teren în suprafaţă de 100 ha, din care s-au atacat lucrările din prima etapă de cca 172.000 mp suprafaţă desfăşurată cuprinzînd profilele : Învăţămînt general, Mecanică — TCM — Mecanică agricolă, Electrotehnică—Energetică—Automatică, CET — laborator Metalurgie, Transporturi, Grup gospodăresc, cu accent pe dezvoltarea amplă a laboratoarelor şi atelierelor de cercetare şi producţie.

Lucrările din etapa I au fost realizate la nivel tehnic superior, constituie o mîndrie a ţării noastre şi oferă condiţii optime pentru desfăşurarea activităţilor în învăţămîntul tehnic superior, pentru care sîntem recunoscători partidului şi conducătorului nostru.

La centenarul reorganizării Institutului politehnic Bucureşti privim cu încredere dezvoltarea lui în etapele viitoare, fiind convinşi că prin munca în colectiv a studenţilor, cadrelor didactice şi personalului ajutător se vor obţine rezultatele cerute de partid, pentru binele şi propăşirea ştiinţei şi tehnicii în ţara noastră.

Prof. emerit ing. **C. Dinculescu,**
membru coresp. al Academiei R.S. România

Contribuția învățămîntului superior la dezvoltarea energeticii românești

Din cele mai vechi timpuri, energetica a condiționat dezvoltarea societății. Nivelul actual de consum de energie și trecerea de la producții individuale la producții centralizate de energie electrică și căldură, respectiv la formarea de sisteme și subsisteme energetice, a impus un nou stadiu în dezvoltarea științei și tehnicii și a ridicat energia printre problemele mari ale omenirii. În acest context, energetica s-a cristalizat ca o știință multidisciplinară, de sine stătătoare, care a formulat și fundamentat principii generale de dezvoltare, respectiv metode proprii legate de funcționarea sistemelor energetice. Energetica presupune anticipare, luarea în considerare a interdependenței factorilor de influență și găsirea soluțiilor care să asigure o dezvoltare echilibrată tehnic și economic. Totodată, principalele orientări în dezvoltarea energetică se integrează și se concretizează în programe speciale, la scară națională, reprezentînd politica energetică în etapa dată.

Complexitatea problemelor energetice a implicat și organizarea corespunzătoare a unui învățămînt superior de profil. O astfel de școală a reprezentat pentru învățămîntul superior tehnic românesc Institutul politehnic București, de la a cărui reorganizare se împlinesc o sută de ani. Și în trecut s-au ținut la Școala politehnică din București unele cursuri cu profil energetic, în cadrul Facultății de electromecanică. Cursuri asemănătoare cu acest profil s-au predat și la Institutele politehnice din Timișoara și Iași. În anul 1950, prin reforma învățămîntului superior, se înființează, la Institutul politehnic din București, Facultatea de electrotehnică și energetică.

La Politehnica din București au profesat personalități de mare autoritate, ca: acad. N. Vasilescu-Karpen, acad. Elie Radu, acad. I. S. Gheorghiu, acad. C. Budeanu, acad. Cristea Mateescu, acad. M. Bercovici, prof. I. Ștefănescu-Radu, prof. C. D. Bușilă, prof. D. Leonida, prof. Dionisie Ghermani, prof. Dorin Pavel și alții. Lucrările lor s-au caracterizat prin anticipare, o largă viziune științifică și au pus bazele lucrărilor de electrificare a țării.

Inginerii români — mulți dintre ei absolvenți sau profesori ai Institutului politehnic din București — au militat și s-au remarcat prin studii, proiecte și propuneri de legi pentru o politică energetică proprie.

Realizările energeticii românești sînt oglindite de dinamica producțiilor și consumului de energie, de evoluția instalațiilor energetice, urmărind dezvoltarea de ansamblu a societății. În tabelul 1 se indică evoluția consumului de energie primară, iar în tabelele 2 și 3 se prezintă evoluția puterilor instalate și a sistemului electroenergetic.

Tabelul 1

Evoluția producțiilor resurselor interne de energie primară în R.S.R. (mil. t c.c.)

	1950	1960	1970	1980
Producția internă totală	14,82	33,21	60,89	66,5
din care:				
— cărbune	2,25	3,62	8,95	11,8
— țiței	7,22	15,90	19,11	16,5
— gaze naturale	3,99	10,22	29,03	32,4
— alți combustibili	1,34	3,27	2,85	1,8
— energie hidro	0,02	0,20	0,95	4,0

Tabelul 2

Puterea instalată în centralele electrice din R.S.R. (MW)

	1950	1960	1970	1980
Total	740	1 779	7 346	16 050
din care:				
— centrale termoelectrice	680	1 569	6 146	12 595
— centrale hidroelectrice	60	210	1 200	3 455

Avînd rezerve limitate de surse energetice primare clasice, energetica românească se caracterizează prin:

— valorificarea cu maximă eficiență a surselor energetice;

— utilizarea superioară a hidrocarburilor în industria petrochimică și limitarea consumării lor, pînă la excludere, în scopuri energetice;

— creșterea ponderii combustibililor solizi cu putere calorică scăzută, în ansamblul balanței energetice;

— utilizarea maximă a potențialului hidroenergetic al țării;
— introducerea de surse noi și refolosibile de energie și în primul rînd a utilizării energiei nucleare.

Învățămîntul tehnic superior a reflectat aceste preocupări prin adaptarea sa continuă la noile cerințe, prin introducerea de noi programe de învățămînt.

Tabelul 3

Dinamica lungimii liniilor electrice de înaltă tensiune de 110, 220 și 400 kV în R.S.R. (SEN) (km)

	1950	1960	1970	1980
Linii 110 kV	127	2 815	7 470	16 200
Linii 220 kV	—	—	1 870	3 500
din care:				
— s.c.	—	—	1 570	2 075
— d.c.	—	—	300	1 425
Linii 400 kV	—	—	1 291	3 715
din care:				
— s.c.	—	—	1 291	3 555
— d.c.	—	—	—	160

Înființarea Facultății de energetică, dezvoltată din Facultatea de electrotehnică și energetică, a creat cadrul pregătirii la nivelul cerințelor economiei naționale a viitorilor ingineri energeticieni, ceea ce a permis integrarea directă a acestora în problemele de proiectare, construcție-montaj sau exploatare.

Necesarul de cadre antrenate în activitatea energetică a cunoscut o creștere deosebită. Energeticienii cu studii superioare au participat atît la activitățile de concepție, execuție și exploatare din unitățile specializate ale Ministerului Energiei Electrice — care a preluat anual între o treime și o jumătate din numărul absolvenților — cît și în unitățile aparținînd celorlalte ministere economice sau organe centrale cu preocupări energetice. Numărul absolvenților cu profil energetic ai Institutului politehnic din București este arătat în tabelul 4.

Tabelul 4

Numărul absolvenților energeticieni la Institutul politehnic București

Nr. crt.	Denumirea specialității	Numărul absolvenților
1	Electroenergetică	2 035
2	Termoenergetică	1 643
3	Hidroenergetică	675
4	Centrale nuclearoelectrice	214
5	Energetică industrială	83

În țara noastră au existat, încă în perioada interbelică, preocupări pentru o abordare științifică a problemelor legate de energie, deși transpunerea în practică s-a făcut abia după trecerea la o economie planificată. Este semnificativă, din acest punct de vedere, prezentarea la prima Conferință Mondială a Energiei, care a avut loc la Londra între 30. VI și 12. VII. 1924, a raportului intitulat „Politica energiei în România", întocmit în principal de specialiști care erau și profesori la Școala politehnică din București.

De asemenea, în anul 1924 au apărut o serie de acte normative menite să creeze cadrul legislativ al dezvoltării energetice a țării, și anume:

— Legea energiei, publicată în Monitorul Oficial nr. 143 din 4 iulie 1924;
— Legea regimului apelor, publicată în Monitorul Oficial nr. 137 din 27 iunie 1924;
— Legea minelor, publicată în Monitorul Oficial nr. 143 din 4 iulie 1924.

Dacă aceste începuturi ilustrează spiritul anticipativ al concepției românești despre dezvoltarea energeticii, transpunerea ei în practică s-a făcut mult mai tîrziu.

Sînt de remarcat, din acest punct de vedere, contribuțiile cadrelor didactice la elaborarea primului plan decenal de electrificare a țării, aprobat în octombrie 1951, care tratează, într-o concepție unitară, sistemică, totalitatea problemelor interesînd în acea perioadă dezvoltarea energetică a țării, urmat ulterior de alte programe fundamentate științific.

Este de asemenea de menționat contribuția și participarea cadrelor de energeticieni din institut la pregătirea studiilor care au fundamentat „Programul-directivă de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și de introducere a progresului tehnic pînă în anul 1990 și orientările pînă în anul 2000" și „Programul-directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pînă în anul 1990 și orientările principale pînă în anul 2000", aprobate de cel de-al XII-lea Congres al Partidului Comunist Român. Aceste documente, de o mare valoare teoretică și practică, au la bază o întreagă experiență acumulată în țara noastră în domeniul energetic, participarea

cu spirit de dăruire a specialiștilor energeticieni din învățămîntul superior, alături de cei din cercetare, proiectare și din unitățile de producție.

Contribuția învățămîntului superior la programele de electrificare a fost reprezentată prin aportul unor personalități de prestigiu ca : prof. D. Leonida, acad. C. Budeanu, prof. Dorin Pavel, acad. C. Micloși, acad. M. Bercovici, prof. C. Dinculescu, acad. Remus Răduleț, prof. N. Gheorghiu, acad. D. Dumitrescu, la care se adaugă un mare număr de personalități științifice, profesori activi la Institutele politehnice București, Iași, Timișoara, Cluj, care, prin cercetările personale, colaborarea cu unitățile de proiectare și cercetare ale M.E.E., și-au adus contribuția la soluționarea unor importante probleme tehnico-științifice privind electrificarea țării.

Dacă în trecut concepțiile și noile orientări în energetică emanau de la anumite personalități animate de spirit vizionar și un fierbinte patriotism, s-a creat ulterior, prin cadrul organizatoric puternic al învățămîntului superior energetic, o adevărată școală românească în domeniul energiei.

Aceasta a permis ca într-un timp relativ scurt să se poată elabora și executa cu forțe proprii proiectele și transpunerea lor în practică, în domeniul energiei, ceea ce evidențiază capacitatea cadrelor noastre de a-și însuși tehnologiile energetice și se răsfrînge implicit asupra ridicării nivelului învățămîntului energetic românesc.

Progresul realizat în concepția, execuția și exploatarea instalațiilor energetice a fost însoțit de perfecționarea continuă a structurii programelor de învățămînt, a structurii cursurilor și conținutului acestora, a bazei materiale a Facultății de energetică.

Inițial, facultatea a pregătit cele trei specialități de bază: electroenergetică, termoenergetică și hidroenergetică. Ulterior, în funcție de noile preocupări legate de folosirea energiei nucleare, s-a dezvoltat, ca direcție aparte, specialitatea „centrale nuclearoelectrice", iar în ultimii ani, prin amplificarea problemelor de economisire a energiei în industrie, s-a desprins, ca o direcție de aprofundare separată, „energetica industrială", incluzînd aspecte de termo și electroenergetică.

Cursurile de matematică și fizică s-au îmbogățit cu noi capitole — energetică industrială — , iar în programele facultății se introduc noi discipline, ca „Fiabilitatea în energetică", „Optimizări în energetică", „Energetică generală", „Conversia energiei" și altele.

Laboratoarele s-au extins și modernizat continuu. La Institutul politehnic București, laboratoarele Catedrei de centrale electrice au în structura lor și o centrală electrică laborator cu o putere instalată de 5,2 MW, pe lîngă laboratoarele de specialitate privind partea electrică a centralelor și stațiilor de transformare, de instalații termice industriale și de rețele și măsuri termice. Toate laboratoarele menționate sînt dotate cu aparatură modernă de măsură, control și automatizare și beneficiază de racordarea la mijloace de calcul și de conducere cu calculatoare electronice.

Laboratoarele Catedrei de rețele electrice s-au extins și dotat cu aparatură modernă, un loc important ocupînd, din punctul de vedere al tehnicității și extinderii, laboratorul de tehnica tensiunilor înalte. Laboratoarele de hidraulică și mașini hidraulice, cu o veche tradiție, au permis pregătirea de specialitate a unui mare număr de ingineri. În prezent sînt în curs de execuție noi laboratoare pentru specialitățile hidraulică și mașini hidraulice, centrale nuclearoelectrice etc.

Existența unor laboratoare moderne, a unor cadre didactice cu o înaltă pregătire profesională a contribuit la buna pregătire aplicativă a inginerilor și la efectuarea unei ample activități de cercetare.

Odată cu individualizarea cercetării energetice și a înființării Institutului central de cercetări energetice (ICCE), contribuția pe linie de cercetare a institutelor de învățămînt superior s-a concentrat pe obiective imediate și legate de nevoile producției. Institutele politehnice din București, Timișoara și Iași fac parte integrantă din ICCE și participă la rezolvarea unora dintre marile probleme de interes național din programele de cercetare, referitoare la valorificarea superioară a surselor de energie și a materiilor prime, la dezvoltarea surselor noi de energie, la economisirea energiei în toate compartimentele activității economice și sociale, precum și la numeroase teme de cercetare din planul de stat și cel departamental al Ministerului Energiei Electrice și altor ramuri.

În ultimii zece ani, cu un total de peste 75 contracte de cercetare, numai la Institutul politehnic București, tematica de cercetare coordonată de ICCE referitoare la necesități ale ramurii energiei a reprezentat peste două treimi din întreaga cercetare efectuată de cadrele didactice ale Facultății de energetică.

Sînt de relevat contribuţiile învăţămîntului tehnic superior referitoare la îmbunătăţirea funcţionării centralelor termo şi hidroelectrice, la mărirea siguranţei sistemului energetic naţional şi a reducerii pierderilor, la transportul şi distribuţia energiei, la introducerea unor tehnici de vîrf în domeniul tuturor categoriilor de instalaţii energetice, cu adaptarea unor instalaţii pentru a reduce consumurile specifice, la valorificarea superioară a căldurii combustibililor prin termoficare, la introducerea unor tehnici noi de calcul şi de principii de optimizare cu efecte pozitive legate de reducerea consumurilor de materiale şi a limitării investiţiilor, în sfîrşit la utilizarea energiei solare, eoliene şi geotermale, a producerii biogazului şi altele.

O contribuţie deosebită a învăţămîntului superior la perfecţionarea cadrelor din producţie o constituie cursurile postuniversitare. Învăţămîntul postuniversitar este frecventat de numeroase cadre din producţie, fiind diversificat, după nevoi, în mai multe forme, între care sînt de menţionat : probleme actuale în producerea energiei din surse termice, utilizarea energiei, montajul centralelor electrice, probleme de automatizare în centralele electrice, transportul şi distribuţia energiei electrice, optimizarea funcţionării centralelor hidroelectrice, hidrometria şi exploatarea CHE şi a staţiilor de pompare. Împreună cu Comitetul de Stat pentru Energia Nucleară, s-au organizat, de asemenea, cursuri postuniversitare cu specific nuclear, pentru a pregăti ingineri cu diferite formaţii, furnizîndu-le cunoştinţele speciale pentru a putea fi folosiţi eficient în sectorul nuclear.

În sistemul de perfecţionare prin doctorat sînt încadraţi, de asemenea, numeroşi specialişti din producţie, fapt ce reflectă încă o legătură eficientă a învăţămîntului cu producţia. Lucrările de doctorat, în marea lor majoritate, s-au impus prin nivelul ştiinţific şi prin legătura nemijlocită cu temele de actualitate ale dezvoltării energeticii româneşti.

Publicaţiile de specialitate ale cadrelor universitare au îmbogăţit continuu literatura de specialitate, ceea ce a permis ca atît studenţii Facultăţii de energetică, cît şi cadrele din producţie să beneficieze de o informare adecvată.

Formarea inginerilor şi subinginerilor în profilul energetic are loc în prezent prin cursuri de zi şi cursuri serale. Planurile de învăţămînt ţin pasul cu nivelul de dezvoltare al ramurii şi cu problemele de strictă actualitate ale acestei ramuri. În această privinţă are un rol pozitiv deosebit faptul că Facultatea de energetică a Institutului politehnic Bucureşti se află într-o relaţie de dublă subordonare, faţă de Ministerul Educaţiei şi Învăţămîntului şi faţă de Ministerul Energiei Electrice. Astfel sînt înmănunchiate armonios elementele unei pregătiri ştiinţifice teoretice şi cerinţele tehnice practice multidisciplinare ale ramurii energiei.

Concepţia planurilor de învăţămînt se bazează în primă linie pe formaţia de bază, matematică inginerească şi de specialitate necesară oricărui energetician. În învăţămîntul ingineresc de zi de cinci ani, această parte durează trei ani, după care se aprofundează în mod particular disciplinele necesare fiecărei direcţii de formare : electroenergetică, termoenergetică, hidroenergetică, centrale nuclearoelectrice şi energetică industrială.

În domeniul electroenergetic, întreaga aprofundare a specialităţii are în vedere că în prezent ţara noastră dispune de un puternic sistem electroenergetic, care acoperă practic întregul teritoriu, sistem interconectat, la tensiunea de 400 kV şi 220 kV, cu sistemele electroenergetice ale ţărilor vecine.

Dezvoltarea reţelelor electrice în perspectivă se bazează pe metode ştiinţifice de analiză din ce în ce mai perfecţionate, care fac apel la sisteme şi metode moderne de calcul, pe utilizarea tot mai largă a calculatoarelor electronice.

În pregătirea de specialitate sînt de asemenea de evidenţiat metodele privind prognoza consumului de energie electrică şi căldură, preliminarea caracteristicilor acestui consum, bazate pe calcule econometrice şi probabilistice.

În acest scop s-au introdus între cursurile de specialitate, pe lîngă cursul de sisteme electroenergetice, cursuri de reţele electrice, tehnica tensiunilor înalte, utilizarea energiei electrice, partea electrică a centralelor şi staţiilor electrice.

Pentru pregătirea corespunzătoare a studenţilor din specialitatea termoenergetică, se porneşte de la actualele necesităţi ale dezvoltării instalaţiilor de producţie în sistem, cunoscînd că în prezent peste 75 % din energia electrică şi întreaga căldură livrată prin termoficare sînt realizate din surse termice convenţionale.

Sarcina primordială trasată de Congresul al XI-lea al P.C.R. în acest domeniu constă în mărirea producţiei de energie pornind de la sursele de lignit din Oltenia şi valorificarea şisturilor bituminoase prin ardere în cazane energetice.

Ţinînd seama de complexitatea acestor probleme, care au caracter de tehnică de vîrf la nivel mondial, precum şi de progresul tehnic în echipamentele termoenergetice, de creşterea puterilor unitare ale grupurilor şi a parametrilor iniţiali, cît şi de concepţia avansată a realizării schemelor de producere a energiei electrice cu randament cît mai ridicat, incluzînd în mod raţional şi termoficarea, au fost adaptate şi programele de pregătire de specialitate ale cursurilor de termoenergetică. Acestea cuprind, pe lîngă cursurile tehnologice tradiţionale de cazane, turbine şi echipamente termice din centralele electrice, cursuri de centrale termoelectrice, de termoenergetică şi termoficare, tratarea apei şi protecţia împotriva coroziunii, folosirea noilor surse de energie.

Nevoile particularizate ale ramurilor industriale în privinţa gospodăririi raţionale a tuturor formelor de energie se reflectă în structura programelor cursurilor de specialitate ale direcţiei de aprofundare energetică industrială. Complexitatea şi multilateralitatea problemelor ridicate de diversele industrii au impus formarea unui inginer energetician de largă concepţie, cu cunoştinţe aplicative atît în aspectele electroenergetice cît şi în cele termoenergetice şi legate de curgerea fluidelor în industrie. În acest scop, cursurile acestei direcţii de aprofundare cuprind, pe lîngă un curs adecvat de cazane şi recuperatoare de căldură, şi cursuri de profil de instalaţii termice industriale, reţele termice şi hidropneumatice, reţele electrice, staţii de transformare şi supratensiuni, precum şi cursuri adecvate de utilizarea energiei electrice şi termice în industrie.

În domeniul hidroenergetic, „Programul naţional de perspectivă pentru amenajarea bazinelor hidrografice din Republica Socialistă România", adoptat în anul 1976 pe baza hotărîrilor Congresului al XI-lea al P.C.R., prevede valorificarea, în perspectiva unei perioade de 30 de ani, a întregului potenţial hidroenergetic tehnic amenajabil al ţării noastre, de 38 miliarde kWh/an, prin instalarea în centrale hidroelectrice a unei puteri de 13 000 MW.

Realizarea acestei sarcini impune ritmuri deosebite de dezvoltare a hidroenergeticii, acestea conducînd şi la sarcini sporite pentru pregătirea specialiştilor hidroenergeticieni care vor contribui la realizarea acestui program. În acest scop, în cadrul Facultăţii de energetică, pentru direcţia de aprofundare hidroenergetică, planurile de învăţămînt, care asigură o pregătire corespunzătoare a inginerilor hidroenergeticieni, au introdus, după anul III de studii, discipline specifice, ca : hidraulică tehnică ; hidrologie şi protecţia calităţii apelor ; hidroenergetică şi gospodărirea complexă a apelor ; echipamente hidromecanice în CHE şi staţii de pompare ; centrale hidroelectrice şi staţii de pompare ; vane, stavile şi reţele hidropneumatice. Avînd în vedere necesitatea încadrării hidroenergeticii în ansamblul de folosinţe ale cursurilor de apă, planul de învăţămînt cuprinde şi cunoaşterea problemelor privind gospodărirea complexă a apelor.

Institutul politehnic Bucureşti, prin Facultatea de energetică, s-a angrenat în problemele implementării energeticii nucleare în ţara noastră, atît prin participarea cadrelor didactice de specialitate, cît şi prin organizarea pregătirii cadrelor noastre pentru centralele nuclearoelectrice.

Cadre didactice din Facultatea de energetică, ca : prof. C. Dinculescu, acad. M. Bercovici, acad. R. Răduleţ şi alţii, au participat la întocmirea programului nuclear naţional în anul 1968—1969.

Ulterior, printr-o strînsă colaborare între Institutul de fizică atomică şi apoi Centrul naţional de fizică, Institutul politehnic Bucureşti a fost angrenat în cercetările fundamentale şi aplicative din domeniul fizicii reactoarelor şi optimizării regimurilor de funcţionare din CNE. În cooperare cu IMGB şi alte întreprinderi ale M.I.C.M., s-au abordat o serie de probleme specifice construcţiei de echipamente pentru centrale nuclearoelectrice, filiera cu apă grea şi uraniu natural.

Deşi încă din 1959—1960 au fost introduse cursuri de specialitate ca : centrale nuclearoelectrice, fizica reactorilor, utilizarea radiaţiilor nucleare în industrie, acceleratorii de particule, la diferite facultăţi, putem considera că din 1967 se începe o activitate coordonată în acest domeniu, prin înfiinţarea secţiei de specializare în centrale nuclearoeletrice în cadrul Facultăţii de energetică. Secţia a devenit direcţia de aprofundare centrale nuclearoelectrice, cu accentul pus pe teoria reactorilor nucleari, construcţia echipamentelor pentru reactorii nucleari, structura centralelor nuclearoelectrice ca sisteme complexe, pe lîngă cursurile tradiţionale de turbine cu abur, tratarea apei şi protecţia împotriva coroziunii.

În cadrul tuturor secțiilor de aprofundare citate mai sus se dau, tinerilor ingineri, și cunoștințe legate de optimizarea soluțiilor și deciziilor, de cunoașterea elementelor specifice de organizare a producției și conducere a întreprinderilor și activităților de tip energetic. Pregătirea energeticienilor cuprinde și noțiunile de bază ale problemelor ecologice și de protecție a mediului înconjurător, legate de producerea, transportul și folosirea energiei.

Este de menționat că, datorită rolului tot mai important al automatizării și al conducerii prin mijloace electronice a proceselor energetice, în bagajul de cunoștințe al tinerilor ingineri energeticieni, independent de direcția de specialitate, s-au introdus temeinice cursuri de automatizare și de calculatoare electronice și microprocesoare.

Un deosebit efect asupra succesului elementelor de noutate tehnică l-a avut întărirea legăturilor dintre cercetare, producție și învățămînt, în special după Congresul al XI-lea al P.C.R., cît și utilizarea ca profesori asociați a cadrelor cu activitate deosebită în cercetare și producție pentru domeniile noi.

Forța învățămîntului superior energetic românesc constă în legătura directă cu producția, respectiv prin participarea celor mai de seamă specialiști atît la activitatea decizională, de concepție și de realizare de obiective energetice în ramură, cît și la formarea noilor cadre pentru producție, cercetare, proiectare. Astfel, învățămîntul energetic românesc participă în mod activ la politica energetică a țării, angajată plenar în efortul pentru dobîndirea independenței energetice și a realizării capacității științifice și tehnologice de asigurare a instalațiilor pentru producerea, transportul și utilizarea eficientă a energiei de toate formele.

Prof. dr. ing. **Alexandru Diacon**
Conf. dr. ing. **Costin Moțoiu**
Prof. dr. doc. **Vasile Nitu**
Conf. dr. ing. **Ionel Purica**

Cerc. dr. ing. **Constantin I. Staicu**

Bilanțul energetic — instrument de analiză cantitativă și calitativă a eficienței transformării și utilizării resurselor energetice

Ing. Marius M. Dăncilă *)

Atingerea independenței energetice — obiectiv major al strategiei de dezvoltare economico-socială a României, stabilit de Congresul al XII-lea al P.C.R. pentru actualul deceniu — implică în primul rînd lărgirea bazei de resurse energetice prin descoperirea și punerea în valoare de noi zăcăminte de combustibil și prin creșterea factorului de recuperare a celor deja cunoscute și exploatate, prin introducerea în balanță a energiei nucleare, prin utilizarea într-o măsură din ce în ce mai largă a resurselor naturale care se reînnoiesc permanent, cum sînt energia hidraulică, dar și cea geotermală, solară și eoliană. În al doilea rînd, realizarea acestui obiectiv necesită o atenție deosebită pentru asigurarea și gospodărirea rațională a combustibililor și energiei — problemă vitală pentru însăși dezvoltarea în continuare a economiei, a întregii noastre societăți.

Cele două laturi ale strategiei de dezvoltare energetică a țării trebuie să fie abordate în strînsă legătură, printr-o tratare sistemică a problemei energiei la scara întregii economii, cu scopul optimizării balanței energetice, și, în final, al echilibrării acestei balanțe fără a mai recurge la import.

Principala pîrghie în vederea luării unor decizii corecte este analiza cantitativă și calitativă a utilizării resurselor energetice primare și a tuturor celorlalte forme de energie. Aceasta înseamnă aprecierea nivelului atins de gospodărirea lor energetică, ceea ce presupune cunoașterea bilanțului energetic la nivel național, a randamentelor și a consumurilor specifice de energie din ramurile economice și chiar mai detaliat, în subramuri și unități industriale.

În formă sintetică, bilanțul energetic reflectă concordanța cantitativă a tuturor felurilor de purtători de energie între subsistemele extracției, prelucrării, transformării, distribuției și utilizării finale. Astfel, bilanțul energetic permite obținerea informațiilor, grupate pe ramuri ale economiei naționale și industriei, pe sectoare și pe întreaga țară, despre : structura producerii resurselor energetice ; volumul și direcția circulației fluxului de combustibil și energie între zone ; eficiența transformării și utilizării resurselor energetice ; rolul energeticii în formarea principalilor indicatori ai activității economice ; consumul de combustibil și de energie pentru producerea principalelor produse ale economiei naționale ; legăturile de natură energetică între diferitele ramuri ale economiei naționale, care formează bilanțul energetic la nivelul acesteia.

Bilanțul energetic complet pentru România, la nivelul anului 1979, este reprezentat într-o diagramă Sankey, prin intermediul căreia se descrie întregul proces de folosire a resurselor energetice, de la extracția energiei primare pînă la utilizarea ei finală [1], [2] (fig. 1). Intrările în balanță — *nivelul* A : *resurse primare* — evidențiază extracția și importul tuturor formelor și purtătorilor de energie primară, importul tuturor formelor și purtătorilor de energie transformată, precum și stocul existent la începutul anului. Ieșirile la nivelul *A* au fost grupate pe destinații : pentru consumul intern, export, pierderi prin transportul purtătorilor primari, precum și cele din procesele de rafinare (pentru produsele petroliere) și stocul la sfîrșitul anului de balanță. Sinteza situației la nivelul *A* este redată în tabelul 1.

În ceea ce privește repartiția resurselor primare pentru consumul intern, s-a considerat utilă evidențierea acesteia printr-un nou nivel de referință în cadrul diagramei — nivelul *B*. Intrările în balanță la nivelul *B* corespund ieșirilor de la nivelul *A* plus purtătorul „gaze combustibile recuperate din industrie". Ieșirile sînt evidențiate sub formă de destinații : pentru conversia în energie electrică și căldură în centrale electrice, pentru consum în economia națională (ca atare sau ca materie primă pentru procesele industriale sau chimizare) și pentru utilizări neenergetice (de exemplu bitumul folosit în construcția de drumuri).

Sinteza balanței la nivelul *B* — considerîndu-se totalul resurselor la nivelul *B* ca fiind 100,0% — este redată în tabelul 2.

Conversia purtătorilor primari în energie electrică și căldură este evidențiată la nivelul *C*. Detaliile asupra transformărilor care au loc la acest nivel pot fi urmărite în figura 2.

La acest nivel de referință, intrările sînt reprezentate de purtătorii primari utilizați drept combustibil în centralele termoelectrice (CET și CTE), în centralele hidroelectrice, precum și importul de energie electrică.

Este detaliată structura combustibilului utilizat în ansamblul centralelor termoelectrice aparținînd Ministerului Energiei Electrice, precum și celorlalte ministere economice (autoproducătorii).

*) Ing. Marius M. Dăncilă este cercetător științific principal la ICEMENERG.

Tabelul 1

Nivelul *A* — resurse primare

	%
I. RESURSE PRIMARE, TOTAL	*100,00*
I.1. *Din producţie proprie*	*74,2*
1.1. Gaze naturale	38,54
1.2. Ţiţei	16,44
1.3. Cărbuni	12,13
din care : — huile, antracit	5,22
— lignit, cărbune brun	6,91
1.4. Hidroenergie(a)	3,50
1.5. Lemn şi alţi combustibili	1,88
1.6. Stoc, la 01.01.1979	1,17
I.2. *Din import*	*25,8*
2.1. Cocs	2,65
2.2. Huile	3,29
2.3. Ţiţei	19,06
2.4. Produse petroliere (rafinate)	0,42
2.5. Energie electrică(b)	0,38
II. DESTINAŢII RESURSE PRIMARE	
II.1. *Pentru consumul intern*	*85,41*
— din total resurse primare	84,28
— gaze combustibile recuperate(c)	1,13
II.2. *Export*	*9,64*
— produse petroliere (rafinate)	9,42
— gaze naturale	0,22
II.3. *Pierderi prin transport şi rafinare*	*2,72*
II.4. *Stoc, la 31.12.1979*(d)	*3,36*

(a) *Hidroenergia* apare ca resursă primară conţinînd în balanţă cu 3,50%. Această valoare a fost obţinută considerînd că 1 joule energie electrică produsă în CHE necesită 2,6 joule la conversia combustibililor clasici. Acest mod de echivalare este în concordanţă cu recomandările formulate de UNIPEDE şi Conferinţa Mondială a Energiei, precum şi cel uzitat în lucrările statistice ONU [3].

(b) *Energia electrică din import* apare la nivelul resurselor primare conţinînd ca 0,38%. Această valoare a fost derivată considerînd că ar fi consumată în sistemul de conversie termodinamică, sub formă de combustibil clasic, pentru producerea aceleiaşi cantităţi de energie electrică.

(c) *Gazele combustibile recuperate din industrie* apar în balanţă la nivelul consumului intern, reprezentînd 1,13%. Aceste resurse sînt produse secundare ale activităţii industriale, rezultate la nivelul utilizărilor finale.

(d) *Stocul la 31.12.1979* constă în principal (circa 95%) din produse petroliere aflate în depozite.

Ieşirile sînt reprezentate de cele două forme principale de purtători secundari de energie destinaţi utilizărilor finale : energie electrică şi căldură în termoficare (industrială şi urbană).

În ansamblul „pierderi" sînt incluse, conform [4], consumurile proprii tehnologice în centralele termoelectrice pentru producerea energiei electrice şi a căldurii, consumurile proprii tehnologice pentru transportul şi distribuţia energiei electrice, pierderile în reţelele de transport şi distribuţie a căldurii în magistralele de termoficare.

La *nivelul* D — *resurse pentru consum în ramurile economiei naţionale*, intrările se compun din : resursele destinate pentru consum în ramurile economiei naţionale (poz. III.2 — tabelul 2), la care se adaugă energia electrică

Tabelul 2

Nivelul *B* — Repartiţia resurselor primare pentru consumul intern

	%
I. RESURSE LA NIVELUL *B*, TOTAL	*100,0*
din care :	
I.1. Din totalul resurselor primare	98,22
I.2. Gaze combustibile recuperate	1,33
I.3. Energie electrică din import	0,45
Din total resurse primare (poz. I.1)	*100,0*
I.1.1. Cărbuni	20,50
din care : — cocs	3,15
— huile, antracit	9,78
— lignit, cărbune brun	7,57
I.1.2. Gaze naturale	45,43
I.1.3. Produse petroliere	27,68
I.1.4. Lemn şi alţi combustibili	2,23
I.1.5. Hidroenergie	4,16
II. DESTINAŢII RESURSE DE LA NIVELUL *B*	*100,0*
II.1. *Pentru conversie în energie electrică şi căldură în centralele electrice, inclusiv energia electrică din import*	*37,99*
din care : a) în centralele hidroelectrice	4,09
b) în centralele termoelectrice	33,45
c) energie electrică din import	0,45
II.2. *Pentru consum în ramurile economiei naţionale*	*59,44*
II.3. *Pentru utilizări neenergetice*	*2,57*

netă (producţia plus importul, mai puţin exportul şi pierderile, conform tabelului 3) şi căldura netă livrată în termoficarea urbană şi industrială. Suma acestor resurse reprezintă 78,7% din valoarea de referinţă considerată (nivelul $B = 100\%$).

Sinteza situaţiei la nivelul *D* este redată în tabelul 4.

Randamentele medii de utilizare a purtătorilor primari şi secundari (energie electrică şi căldură) în ramurile economiei naţionale, pentru anul 1979, sînt evidenţiate în tabelul 5.

Ţinînd seama de datele din tabelul 5, s-a întocmit balanţa la *nivelul* E — *consumul final în economia naţională*. Această balanţă, prezentată sintetic în tabelul 6, relevă atît destinaţia resurselor disponibile pentru consumul final, cît şi eficienţa utilizării acestor resurse în diferitele ramuri (sectoare) ale economiei naţionale.

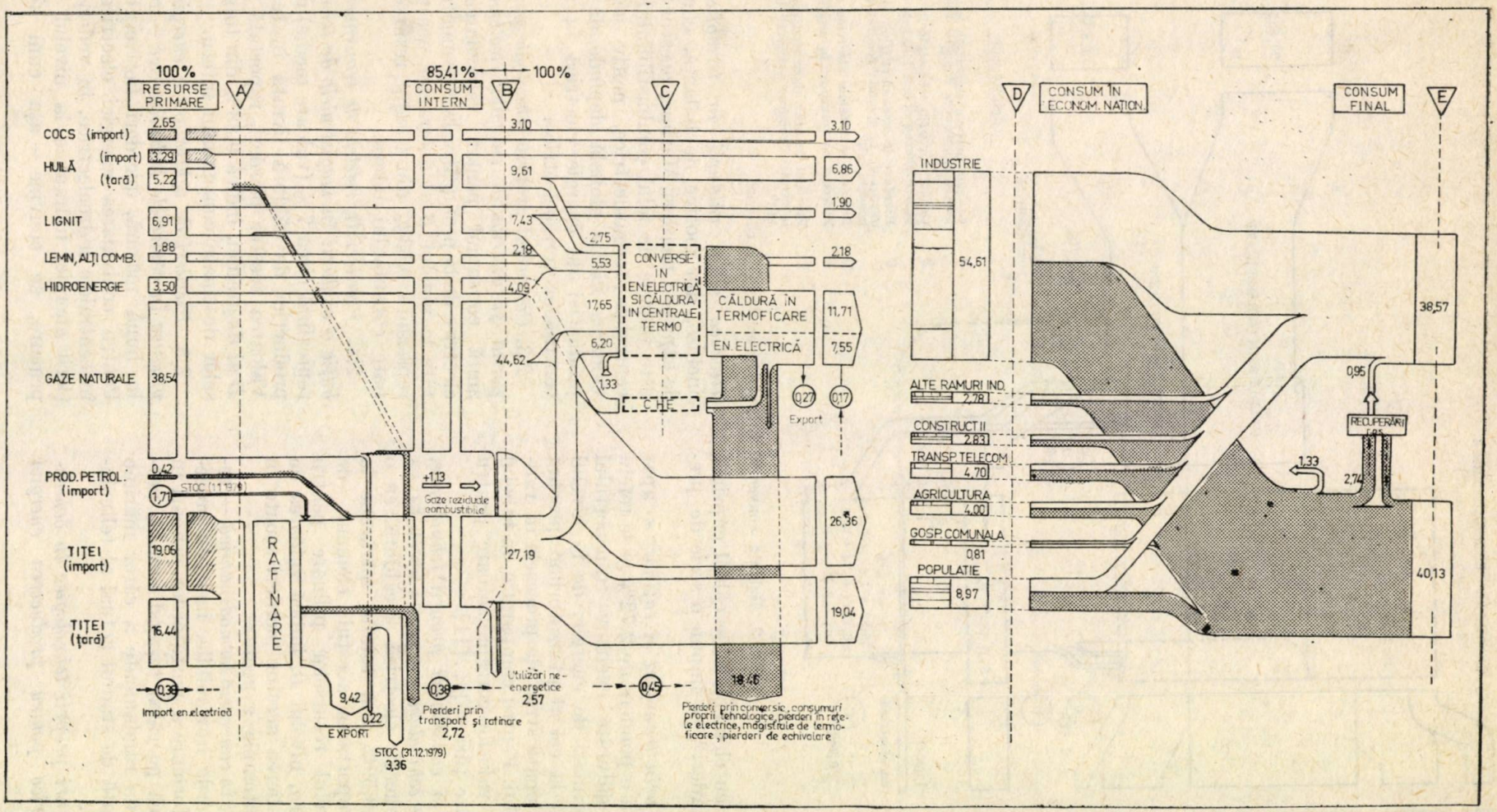


Fig. 1. Fluxul de energie în România în anul 1979 — diagrama Sankey.

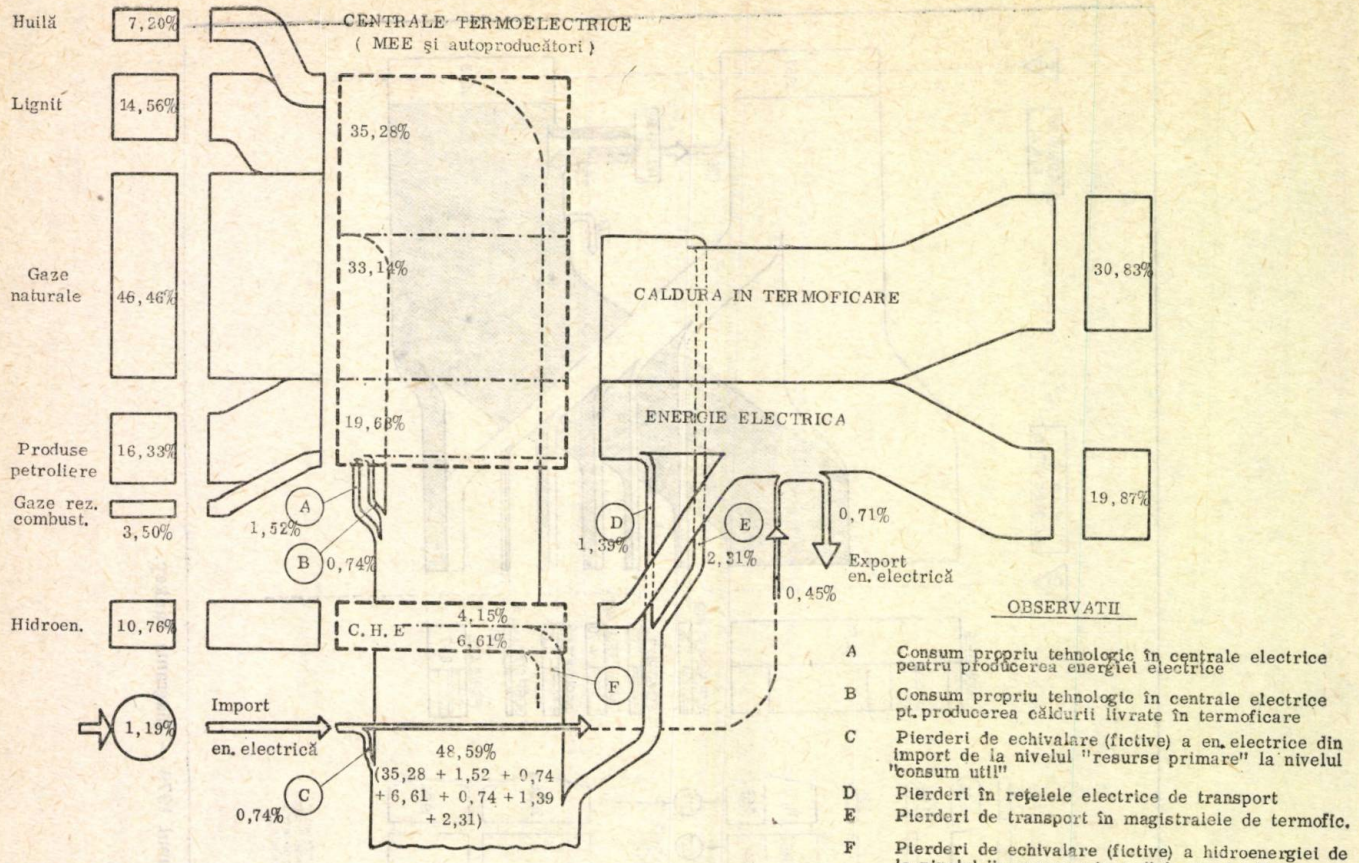


Fig. 2. Balanţa conversiei în energie electrică şi căldură.

În legătură cu elementele de calcul cuprinse sub titlul „pierderi", se impun o serie de precizări :

1. *Pierderi prin transport şi rafinare* — apar la nivelul *A* cu o pondere de 2,72% şi se referă la pierderile datorate exclusiv transportului purtătorilor primari de energie, de la nivelul extracţiei pînă la cel al utilizatorilor, precum şi a celor ocazionate strict de procesele de rafinare a petrolului. Pentru comparaţie, în tabelul 7 sînt redate valorile corespunzătoare pentru România şi alte ţări [5]...[11].

2. *Pierderi şi consumuri proprii tehnologice, de transport, de echivalare* — apar la nivelul *C* — conversia în energie electrică şi căldură, cu o pondere de 48,59% din totalul intrărilor la acest nivel (raportarea acestui element de calcul la nivelul resurselor primare pentru consumul intern, nivelul *B*, indică valoarea de 18,46%). Detalierea acestor pierderi scoate în evidenţă următoarele aspecte :

2.1. *Pierderi în conversia termodinamică* — reprezintă pierderile ireversibile, inerente procesului de transformare a purtătorilor primari în energie electrică pe calea termodinamică, procese afectate de randamente a căror mărime este strîns legată de stadiul actual al tehnologiilor utilizate.

2.2. *Consumuri proprii tehnologice în centralele termoelectrice pentru producerea energiei electrice şi a căldurii în termoficare* — sînt incluse, din motive de balanţă, conform [4], la capitolul pierderi. Mărimea acestor consumuri este funcţie de felul combustibilului folosit în centralele termoelectrice, motiv pentru care valoarea medie globală depinde de structura producţiei de energie electrică în ansamblul centralelor termoelectrice.

2.3. *Consumul propriu tehnologic pentru transportul şi distribuţia energiei electrice* — reprezintă consumul pentru vehicularea energiei electrice de la producător la consumator. Raportate la nivelul *B* al diagramei, aceste pierderi reprezintă 0,53% din totalul resurselor destinate consumului intern.

2.4. *Pierderi în reţelele de transport şi distribuţie a căldurii în magistralele de termoficare* — reprezintă circa 7% (valoare medie) din totalul producţiei de căldură livrată în termoficare. Valoarea acestor pierderi, raportată la nivelul *B* al diagramei, indică 0,88% din totalul resurselor destinate consumului intern.

2.5. *Pierderi de echivalare a energiei electrice produse în centralele hidroelectrice* — reprezintă, în bună măsură, pierderi fictive, de calcul. Pentru echivalarea energiei electrice produse în centralele hidroelectrice, în vederea evidenţierii energiei hidraulice la nivelul resurselor primare, se convine — aşa cum s-a arătat

Tabelul 3

Nivelul *C* — Conversia în energie electrică şi căldură în centralele electrice; importul şi exportul de energie electrică

	%
I. INTRĂRI RESURSE LA NIVELUL *C*, TOTAL	*100,0*
I.1. În centralele hidroelectrice	10,76
I.2. În centralele termoelectrice	88,05
I.3. Import de energie electrică	1,19
II. STRUCTURA COMBUSTIBILULUI FOLOSIT ÎN CENTRALELE TERMOELECTRICE, TOTAL	*88,05*
II.1. Cărbuni	21,76
din care: — huile	7,20
— lignit, cărbune brun	14,56
II.2. Gaze naturale	46,46
II.3. Produse petroliere (păcură, motorină)	16,33
II.4. Gaze combustibile recuperate	3,50
III. REZULTATUL CONVERSIEI LA NIVELUL *C*, TOTAL	*100,0*
III.1. *Producţie*	*50,96*
din care: — pentru consum intern	50,25
— export de energie electrică	0,71
Din producţia pentru consumul intern:	
— energie electrică	19,42
— căldură	30,83
III.2. *Import de energie electrică* (echivalat la nivelul *C*)	*0,45*
III.3. *Pierderi în procesul de conversie şi consumuri proprii tehnologice, de transport, de echivalare*	*48,59*
din care:	
— în conversia termodinamică	35,28
— c.p.t. în centralele termoelectrice	2,26
— c.p.t. pentru transportul şi distribuţia energiei electrice	1,39
— pierderi în reţelele de transport şi distribuţie a căldurii	2,31
— echivalare la nivelul *C* pentru conversia hidroenergiei (pierderi de calcul)	6,61
— echivalare la nivelul *C* pentru energia electrică din import (piederi de calcul)	0,74

anterior — să se considere că 1 joule energie electrică produsă în CHE necesită un consum de combustibil clasic echivalent cu 2,6 joule în centralele termoelectrice.

2.6. *Pierderi de echivalare a energiei electrice din import* — sînt de asemenea pierderi fictive, de calcul, derivate prin acelaşi raţionament ca la pct. 2.5.

În tabelul 8 se indică ponderea pierderilor la nivelul *C* al diagramei, în România şi alte ţări.

Tabelul 4

Nivelul *D* — Resurse pentru consum în ramurile economiei naţionale (nivel de referinţă: nivelul *B* = 100%)

	%
I. STRUCTURA RESURSELOR, TOTAL	*78,70*
I.1. Cărbuni	11,86
din care: I.1.1. Cocs	3,10
I.1.2. Huile, antracit	6,86
I.1.3. Lignit, cărbune brun	1,90
I.2. Gaze naturale	26,36
I.3. Produse petroliere (rafinate)	19,04
I.4. Energie electrică	7,55
I.5. Căldură în termoficare industrială şi urbană *	11,71
I.6. Lemn şi alţi combustibili	2,18
II. DESTINAŢII RESURSE, TOTAL	*78,70*

Resurse / Ramuri economice	Total	din care: cărbuni	gaze naturale	produse petroliere	energie electrică	căldură	lemn şi alţi comb.
II.1. Industrie	54,61	10,12	23,69	8,99	5,69	5,66	0,46
II.2. Alte ramuri ale economiei naţionale	2,78	0,20	0,34	0,60	0,19	1,21	0,24
II.3. Construcţii	2,83	0,22	0,09	1,79	0,19	0,52	0,02
II.4. Transporturi şi telecom.	4,70	0,19	...**	4,09	0,22	0,18	0,02
II.5. Agricultură	4,00	0,04	0,10	2,16	0,35	1,31	0,04
II.6. Gospod. comunală	0,81	...**	0,04	0,45	0,17	0,14	0,01
II.7. Consumul populaţiei	8,97	1,08	2,10	0,96	0,74	2,70	1,39

* sub formă de apă fierbinte şi abur tehnologic.
** valori sub 0,01%.

Tabelul 5

Randamente medii de utilizare a purtătorilor primari şi secundari de energie în ramurile economiei naţionale

Sectroul de activitate	Randament mediu* %
A. Industrie	
— industrie, propriu-zis	48,82
— alte ramuri ale economiei naţionale	
B. Transporturi şi telecomunicaţii	29,15
C. Agricultură şi silvicultură	39,91
D. Gospodărie comunală şi casnic	
— gospodăria comunală	
— la consumul populaţiei (sectorul casnic)	39,91

* valori furnizate de Institutul de economie industrială.

3. *Pierderi la utilizatori* — apar la nivelul *E*: consumul final în ramurile economiei naţionale şi se ridică la 40,13% din totalul resurselor destinate consumului intern (nivelul *B*). Valoarea acestor pierderi a fost obţinută aplicînd randamentele medii de utilizare în ramurile economiei naţionale, randamente care au valorile indicate în tabelul 5.

Tabelul 6

Nivelul *E* — Consumul final în ramurile economiei naţionale

	%	Raportat la nivelul *B* (nivelul *B* = 100%)
I. RESURSE DISPONIBILE, TOTAL	*100,0*	*78,70*
II. DESTINAŢII, TOTAL	*100,0*	*78,70*
II.1. Industrie	69,39	54,60
II.2. Alte ramuri ale economiei naţionale	3,54	2,78
II.3. Construcţii	3,59	2,83
II.4. Transporturi şi telecomunicaţii	5,97	4,70
II.5. Agricultură	5,09	4,01
II.6. Gospodăria comunală	1,03	0,81
II.7. Consumul populaţiei	11,39	8,97
III. UTILIZĂRI, TOTAL	*100,0*	*78,70*
III.1. *Consum util în ramurile economiei naţionale*	*49,0*	*38,57*
din care recuperări RES	2,9	2,28
III.2. *Pierderi*	*51,0*	*40,13*
din care:		
— în industrie	32,60	25,66
— alte ramuri ale economiei naţionale	1,81	1,42
— construcţii	1,85	1,45
— transporturi, telecomunicaţii	4,22	3,32
— agricultură	3,06	2,41
— gospodăria comunală	0,62	0,49
— la consumul populaţiei	6,84	5,38

Tabelul 7

Ţara	Pierderi prin transportul purtătorilor, primari şi la rafinarea petrolului, %	Ponderea hidrocarburilor lichide în totalul resurselor primare, %
Australia (1979)	2,31	33,74
Finlanda (1979)	3,18	57,14
Franţa (1977)	4,4	58,94
Italia (1978)	7,05	68,81
Iugoslavia (1978)	~ 3,0	41,67
Japonia (1971)	...*	76,80
R. F. Germania (1978)	1,96	49,57
România (1979)	2,72	37,63

* nu se dispune de date care să permită calculul.

O imagine sintetică a utilizării resurselor de energie destinate consumului intern pentru România şi celelalte ţări, pentru care s-a dispus de date similare, este prezentată în tabelul 9.

Ca observaţie generală menţionăm că în balanţa fluxului de energie pentru R. F. Germania [5] şi Australia [6], sub genericul „ungenutzte Energie" (energie nefolosită), respectiv „unused energy" (energie neutilizată), apare ceea ce în balanţa întocmită pentru România a fost cuprins sub titlul „pierderi".

De asemenea, randamentele medii de utilizare înscrise în tabelul 9 nu reflectă decît parţial gradul de modernizare a diferitelor sectoare de utilizare, cît şi ponderea acestora în ansamblul economiei naţionale (structura consumatorilor). Mai mult, comparaţiile de

Tabelul 8

Ponderea pierderilor şi consumurilor proprii tehnologice, de transport, de echivalare, la nivelul „conversia în energie electrică şi căldură" [5]...[11]

Ţara	Pierderi %
Australia (1979)	69,92(a)
Finlanda (1979)	47,29(b)
Franţa (1977)	47,17
Italia (1978)	66,16
Iugoslavia (1978)	.....(c)
Japonia (1971)	65,7
R. F. Germania (1978)	62,0
Romania (1979)	48,59(d)

(a) fără luarea în considerare a pierderilor de echivalare la energia hidroelectrică; în cazul considerării acestora, cuantumul pierderilor la nivelul balanţei ar fi de 53,12%.
(b) fără luarea în considerare a pierderilor de echivalare la energia hidroelectrică.
(c) nu au putut fi calculate pe baza datelor disponibile în [9].
(d) valoarea relativ scăzută a pierderilor (energie neutilizată) în procesul de conversie termodinamică în cazul României se explică prin ponderea relativ ridicată a producerii combinate a energiei electrice şi a căldurii în termoficare, proces în care pierderile inerente în ciclul termodinamic se reduc sensibil.

Tabelul 9

Consumul util în ramurile economiei naţionale, raportat la totalul resurselor destinate consumului intern (nivelul *B*)

Ţara	Consum util* %
Australia (1979)	40,0
Italia (1978)	40,94
Japonia (1971)	60,5
R. F. Germania (1978)	44,35
România (1979)	38,57

* Pentru Finlanda, Franţa şi Iugoslavia, statisticile energetice nu oferă suficiente date care să permită calculul consumului util în ansamblul economiei naţionale.

acest gen trebuie privite cu rezerva ce derivă din modul diferit de calcul al randamentelor la utilizator.

În loc de concluzii

— Rezultatele unei politici ştiinţifice de dezvoltare a bazei energetice şi de utilizare raţională a combustibililor şi energiei în ţara noastră ar putea fi sintetizate apelînd la datele statistice: la o creştere economică în ritm mediu de circa 11—12% pe an în deceniile 7 şi 8, creşterea consumului de energie s-a redus de la peste 9% pe an în deceniul 7 la sub 4,5% în deceniul 8.

— Cu toate acestea, datorită dezvoltării fără precedent a activităţii economice, încă din anul 1971 necesarul de combustibili şi energie a depăşit posibilităţile interne de aprovizionare şi a trebuit să fie acoperit într-o proporţie din ce în ce mai mare prin importuri, în special de petrol şi cărbune cocsificabil. Aceste importuri au reprezentat la nivelul anului 1979 circa 26% la un total de resurse primare de aproape 104 mil. t c.c.

— În scopul realizării obiectivului major al dezvoltării economice şi sociale a ţării în deceniul actual — independenţa energetică —, atenţia factorilor de analiză şi decizie este în-

dreptată spre modul de abordare a problemelor asigurării cu energie și în particular a utilizării ei raționale. În acest sens, principalul parametru care va sta la baza optimizării balanței energetice îl va constitui îmbunătățirea raportului dintre rezultatele economice și consumul de energie.

— Eforturilor pentru lărgirea bazei de materii prime energetice, cu precădere a cărbunilor, trebuie să le fie conjugate eforturi energice în vederea recuperării, în proporție crescîndă, a resurselor energetice secundare din industrie și a materialelor refolosibile, precum și a introducerii în balanță a surselor noi de energie, concomitent cu măsuri eficiente de conservare a energiei.

— Dacă pînă în prezent conservarea energiei s-a realizat, în primul rînd, prin măsuri vizînd îmbunătățirea randamentelor energetice ale mașinilor, utilajelor și instalațiilor, în viitor se impune perfecționarea structurii economice, și în primul rînd a industriei — principalul consumator de energie, combustibili și materii prime —, pe criteriul reducerii consumului de energie pe unitatea de produs național. Aceasta înseamnă că dezvoltarea noastră viitoare va fi direcționată, în primul rînd, către producerea de bunuri de valoare mare, cu consumuri energetice reduse, scăzînd din ce în ce mai mult ponderea producției bunurilor energointensive.

— Bilanțul energetic, ca studiu complex al lanțului de transformare a energiei în procesele de producție, se constituie în bază tehnică reală de fundamentare a ansamblului de măsuri tehnice și organizatorice pentru creșterea randamentului de utilizare a energiei pe ansamblul economiei naționale.

— Analiza separată a celor mai importante ramuri industriale pune în evidență pe cele energointensive, ramuri ce dau naștere unui efect de structură negativ balanței energetice. Ținînd seama de acest aspect, se poate spune că în prezent stadiul și ritmul de dezvoltare în continuare a industriei, mai ales a ramurilor energointensive, impun măsuri de raționalizare a consumurilor de energie și combustibil, precum și de restructurare a acestora, pe baze energo-economice științific fundamentate.

— Identificarea, cu ajutorul balanței, a punctelor în care au loc pierderi de energie oferă indicii prețioase asupra locurilor unde, din punct de vedere cantitativ și calitativ, se impune recuperarea RES, modificarea și îmbunătățirea unor agregate sau tehnologii, ca și raționalizări ale proceselor energointensive.

— În sfîrșit, în ceea ce privește consumul util în ramurile economiei naționale, o parte din problemele care se pun, și care necesită — fiecare în parte — un studiu complex, ar fi următoarele [12]:

— care a fost criteriul selecției în cazul accesibilității la doi purtători diferiți de energie (de exemplu consumul minim de energie primară, cheltuieli de investiție minime, consum specific minim de energie, volum maxim al producției etc.) și ce tendințe se manifestă în acest sens în viitor?

— dacă au fost egal accesibile două sau mai multe tehnologii care asigură aceeași calitate a produsului, care au fost criteriile de selecție (de exemplu consumul specific de energie, cheltuieli de investiție, volum al producției, licența cea mai ieftină etc.) și ce se întrevede pentru etapa actuală și de perspectivă?

— oportunitatea soluțiilor mai poate fi abordată numai prin prisma costurilor, respectiv a criteriului cheltuielilor totale actualizate, sau se impune elaborarea unui ansamblu de criterii energo-economice de alegere a variantei sau soluției optime?

— referitor la soluțiile deja adoptate, dacă se ajunge la o situație în care concepția energetică trebuie reconsiderată — de exemplu din cauza limitării accesului la un purtător primar sau din cauza unor modificări de conjunctură —, există deja pregătite condițiile de restructurare sau redimensionare rapidă cu scopul de a reacorda parametrii economici și energetici la noua situație?

O analiză complexă de acest gen ar însemna, de fapt, determinarea eficienței utilizării purtătorilor primari de energie, a combustibililor, energiei electrice și a căldurii pe ansamblul economiei naționale și totodată optimizarea bilanțurilor de combustibil și energie ale ramurilor economice.

Determinarea eficienței optime a utilizării diferiților purtători, combustibili și forme de energie înseamnă aprecierea economico-energetică multilaterală a fiecăreia, ținînd seama de limitarea resurselor, în contextul participării la schimburile internaționale energetice, adică, în final, la optimizarea balanței de combustibil și energie a țării în condițiile atingerii obiectivelor propuse.

Bibliografie

[1] * * * *Anuarul statistic al Republicii Socialiste România, 1980.* Direcția Centrală de Statistică, București, 1980.

[2] * * * *Balanța energiei primare (combustibili, carburanți, energie electrică și termică) în anul 1979.* Direcția Centrală de Statistică, București, 1980.

[3] * * * *World Energy Supplies 1950—1974. Statistical Papers.* United Nations, New York (N.Y.), 1976.

[4] * * * *Normativ privind metodica de întocmire și analiză a bilanțurilor energetice în întreprinderile industriale și similare.* E(2 + 7) — 70. M.E.E., Inspecția generală energetică, București, 1970.

[5] * * * *Energieflussbild der Bundesrepublik Deutschland 1978.* RWE Abt. German National Committee of World Energy Conference, Düsseldorf, 1980.

[6] * * * *Energy Flow-Chart 1978—79 Australia.* Australian National Committee of World Energy Conference, Melbourne, 1980.

[7] * * * *WEC National Energy Data Report Finland 1979.* World Energy Conference Finish National Committee, Helsinki, 1979.

[8] * * *Italian Energy Balance 1978.* Joint ENEL—ENI Survey Data. World Energy Conference Italian National Committee, Roma, 1980.

[9] * * * *The Electric Power Industry of Yugoslavia.* Union of Yugoslav Electric Power Industry, Beograd, 1978.

[10] * * * *Synthèse des bilans énergétiques français 1960—1977.* Comité National Français de la Conférence Mondiale de l'Energie, Paris, 1978.

[11] N o g u c h i, T.V. *Energy Crisis and its Background in Japan.* În : Revue de l'Energie, nr. 265, 1974, p. 253—259.

[12] P r e d a, D. *Raport general la Secția I : Energetică industrială.* Sesiunea jubiliară de comunicări tehnico-științifice ICEMENERG, București, iunie 1980.

(Articol intrat în redacție la 29 mai 1981)

Relații practice de calcul pentru stabilirea regimului economic de funcționare a instalațiilor de producere a aerului comprimat din întreprinderile industriale

Ing. **Mihai Moga***)

Aerul comprimat fiind un agent energetic pentru producerea căruia se consumă cantități importante de energie electrică, se impune exploatarea rațională a instalațiilor pentru producerea și distribuția sa [5]. În acest sens, lucrarea de față își propune stabilirea regimului economic de funcționare a unei instalații de producere a aerului comprimat de joasă presiune [$(2 - 10) \cdot 10^5$ N/m^2] prevăzută cu compresoare cu piston, antrenată de motoare electrice, a căror oprire și pornire se pot automatiza.

În cadrul lucrării se analizează regimurile de funcționare a instalației din punctul de vedere al consumului specific de energie electrică, se definește un criteriu pentru stabilirea regimului economic în funcție de parametrii consumului de aer comprimat și caracteristicile instalațiilor pentru producerea sa. De asemenea, se deduc relațiile practice pentru aplicarea criteriului și pentru determinarea volumului minim al recipientului-tampon, din considerente de exploatare a echipamentelor instalației.

1. Prezentarea instalației de producere și distribuție a aerului comprimat

1.1. *Structura și regimurile de funcționare*

Structura instalațiilor de producere și distribuție a aerului comprimat este în general identică și conține elementele prezentate în figura 1 [1], [6].

Referitor la funcționarea instalației pentru producerea aerului comprimat, se pot stabili trei regimuri distincte, definite astfel :

— Regimul I — fără reglaj de presiune. Funcționarea grupului motor-compresor este continuă, excesul de aer fiind evacuat prin supapa de siguranță *SS* a recipientului-tampon *RT* ;

— Regimul II — cu regulator mecanic de presiune. După ce în rezervorul-tampon *RT* se atinge presiunea maximă (p_{max}), impusă de consumatori, regulatorul de presiune închide supapa de admisie, *SA*, compresorul *C* funcționînd în continuare în gol pînă la scăderea presiunii la valoarea minimă admisă (p_{min}) [1].

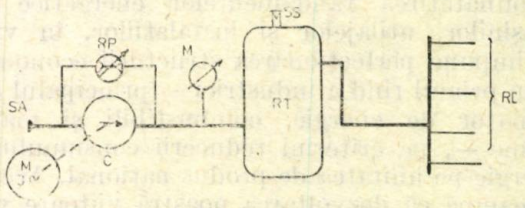


Fig. 1. Structura instalației pentru producerea și distribuția aerului comprimat :

M — motor electric de antrenare ; *C* — compresor cu piston ; *RP* — regulator mecanic de presiune ; *M* — manometru de control ; *RT* — recipient-tampon ; *SA* — supapă de admisie ; *SS* — supapă de siguranță ; *RD* — rețea de distribuție.

— Regimul III — cu presostat electric (manocontact electric). La atingerea presiunii maxime, sesizată de presostatul electric, acesta comandă deconectarea motorului de antrenare, *M*, de la rețea. Cînd presiunea în recipientul-tampon scade la o valoare minimă (p_{min}), impusă de consumatori, motorul de antrenare este reconectat [2].

Avînd în vedere variația în general mare a debitului necesar de aer comprimat al unei întreprinderi sau secții, funcționarea compresoarelor în regimul I este evident neeconomică, acest regim fiind admis pentru compresoarele cu debit mic și funcționare sporadică [5]. Funcționarea compresoarelor în regimurile II și III este caracterizată prin variația puterii absorbite de motorul de antrenare și a presiunii în recipientul-tampon, conform figurii 2.

1.2. *Datele inițiale utilizate în calcul* (Notații, unități de măsură)

Majoritatea compresoarelor de aer comprimat cu piston sînt prevăzute de firma constructoare cu echipamentul necesar funcționării în regi-

*) Ing. Mihai Moga este asistent la Institutul politehnic Timișoara, Facultatea de electrotehnică, Catedra de electroenergetică.

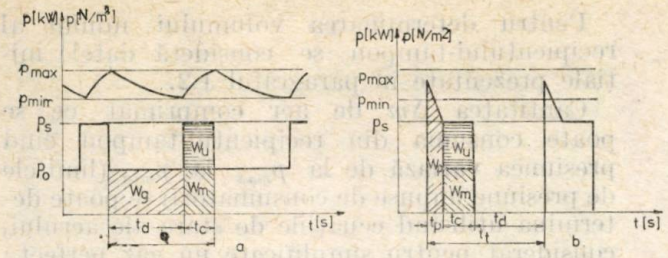


Fig. 2. Variaţia puterii absorbite de motorul de antrenare şi a presiunii în recipientul-tampon :
a — în regimul II ; *b* — în regimul III.

mul II. În funcţie de caracteristicile consumului de aer comprimat : limitele presiunii admise de consumatori (p_{max} ; p_{min}), debitul mediu necesar de aer (D_{nec}), se impune compararea, din punctul de vedere al consumului de energie electrică şi al uzurii instalaţiei, a regimului II cu regimul III. Ultimul este în general mai economic, însă implică o uzură suplimentară a aparatajului de conectare.

Pentru o instalaţie de producere a aerului comprimat (fig. 1), în afară de caracteristicile consumului de aer comprimat precizate mai sus, se mai pot cunoaşte următoarele două categorii de date :

— Datele de catalog ale elementelor componente :

D_n — debitul nominal al componentelor [m³/min] ;
p_n — presiunea nominală [N/m²] ;
V — volumul recipientului-tampon [m³] ;
P_n — puterea nominală a motorului electric de antrenare [kW] ;
n — turaţia nominală a motorului de antrenare [rot/min] ;
J — momentul de inerţie al ansamblului motor-compresor [N.m²].

— Datele rezultate din măsurători efectuate în regimul II de funcţionare (fig. 2) :

t_c — timpul de funcţionare în sarcină în cadrul unui ciclu [s] ;
t_d — timpul de funcţionare în gol (cu supapa de admisie închisă) [s] ;
P_s şi P_0 — puterea medie absorbită de motor la funcţionarea în sarcină şi respectiv la mersul în gol [kW].

2. Determinarea regimului optim din punctul de vedere al consumului de energie

Deoarece funcţionarea instalaţiei în regimul I este evident neeconomică din acest punct de vedere, se vor compara regimurile II şi III de funcţionare pe baza unui criteriu ce se va stabili în continuare.

Pentru o instalaţie de producere a aerului comprimat (fig. 1) şi un consum dat (impus de consumatori) se vor determina consumurile medii orare P_{II} şi P_{III} în regimul II şi respectiv regimul III de funcţionare :

$$P_{II} = P_s \frac{t_c}{t_t} + P_0 \frac{t_d}{t_t} = P_s\, t_{cr} + P_0\, t_{dr} \quad [kW]$$
$$P_{III} = P_s \frac{t_c}{t_t} + W_p / t_t = P_s\, t_{cr} + W_p / t_t \quad [kW], \tag{1}$$

unde

t_t — este durata totală a unui ciclu [s] :

$$t_t = t_c + t_d$$

t_{cr}, t_{dr} — timpii relativi de funcţionare în sarcină, respectiv în gol, ai compresorului ;

W_p[kWs] — energia necesară pornirii şi atingerii regimului de funcţionare în sarcină a grupului motor-compresor. Poate fi determinată prin măsurători (înregistrări) sau prin calcul [4] :

$$W_p = 2 \cdot J \frac{\Omega^2}{2},$$

în care

J este momentul de inerţie al părţilor mobile ale motorului de antrenare şi compresorului (determinat prin metoda lansării [3]) ;

Ω — viteza unghiulară geometrică a rotorului, avînd expresia :

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ rad/s}$$

Pentru o durată de timp oarecare t în care au loc : $N_c = t/t_t$ cicluri, se pot scrie expresiile energiilor electrice absorbite (W_{II} şi W_{III}), în cele două regimuri de funcţionare :

$$W_{II} = (W_u + W_m + W_g) \cdot N_c$$
$$W_{III} = (W_u + W_m + W_p) \cdot N_c, \tag{2}$$

în care notaţiile au semnificaţiile prezentate în figura 2, şi anume :

$W_u = (P_s - P_0) \cdot t_c$ este cantitatea de energie transmisă aerului comprimat în cursul unui ciclu ;

$W_g = P_0 \cdot t_d$ — energia consumată în perioada de mers în gol a unui ciclu, în regimul II ;

$W_m = P_0 \cdot t_c$ — energia consumată în perioada de funcţionare în sarcină a unui ciclu pentru acoperirea pierderilor de mers în gol ;

W_p — energia consumată în perioada de pornire a compresorului în regimul III.

Aşa cum rezultă din relaţiile (2), în regimul III se evită consumul de energie W_g, corespunzător mersului în gol al compresorului din regimul II, dar se consumă în plus energie W_p, corespunzătoare pornirii.

Regimul III va fi mai avantajos energetic decît regimul II dacă

$$W_g > W_p,$$

de unde

$$P_0 \cdot t_d > W_p$$

$$t_d > t_{dcr},$$

unde

$$t_{dcr} = \frac{W_p}{P_0} \qquad (3)$$

Deci regimul III conduce la un consum mai mic de energie decît regimul II dacă, pentru o anumită durată a ciclului de funcţionare, t_t,

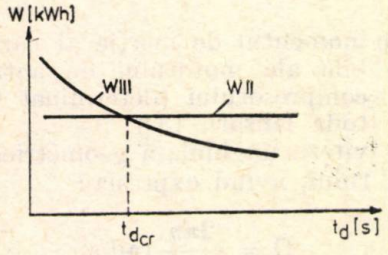


Fig. 3. Variaţia consumului de energie electrică în regimurile II şi III, funcţie de timpul de mers în gol, t_d.

durata regimului de mers în gol, t_d, este mai mare ca o valoare-limită inferioară, t_{dcr}, definită conform relaţiei (3).

3. Determinarea volumului minim al recipientului-tampon în vederea funcţionării compresorului în regimul III

Pentru a decide regimul de funcţionare a compresorului, pe lîngă criteriul prezentat mai sus trebuie luată în considerare şi uzura aparatajului de conectare şi a ansamblului motor-compresor, evident mai mari în regimul III. Această condiţie poate fi considerată prin impunerea unui număr de porniri şi opriri maxim în unitatea de timp, respectiv o durată minimă, $t_{t\,min}$, a unui ciclu. În cazul în care durata t_t a unui ciclu este mai mică decît $t_{t\,min}$, majorarea acesteia, şi deci crearea condiţiilor pentru funcţionarea în regimul III, se poate realiza prin majorarea capacităţii recipientului-tampon, pînă la volumul minim necesar, pentru care: $t_t = t_{t\,min}$.

Pentru determinarea volumului minim al recipientului-tampon se consideră datele iniţiale prezentate în paragraful 1.2.

Cantitatea Δm de aer comprimat ce se poate consuma din recipientul-tampon cînd presiunea variază de la p_{max} la p_{min} (limitele de presiune impuse de consumatori) se poate determina utilizînd ecuaţiile de stare ale aerului, considerat pentru simplificare un gaz perfect:

$$V_{min}(p_{max} - p_{min}) = \Delta_m \frac{RT}{M}, \qquad (4)$$

unde notaţiile: R, T şi M au semnificaţiile consacrate.

Timpul în care se consumă din recipient cantitatea Δm de aer, reprezintă noul timp t'_d de deconectare a compresorului, ce rezultă din relaţia:

$$D_m = D_{nec}\, t'_d \cdot \rho_{aer}, \qquad (5)$$

unde

D_{nec} este debitul mediu necesar de aer comprimat:

$$D_{nec} = D_n \frac{t_c}{t_t} = D_n \cdot t_{cr} \qquad (5')$$

ρ_{aer} — densitatea aerului.

Avînd în vedere că timpul relativ de funcţionare în gol este acelaşi, indiferent de durata ciclului, se poate introduce în relaţia (5) durata minimă t_{tmin} a unui ciclu:

$$t_{tmin} = t'_d / t_{dr}$$

Înlocuind D_m din (5) în (4), rezultă:

$$V_{min} = \frac{D_{nec} \cdot t_{t\,min} \cdot t_{dr} \cdot \rho_{aer}}{p_{max} - p_{min}} \cdot \frac{RT}{M} \qquad (6)$$

Deoarece densitatea aerului (ρ_{aer}) depinde de parametrii de stare ai acestuia, se va considera valoarea acesteia la presiunea medie:

$$p = (p_{max} + p_{min})/2.$$

Rezultă

$$\rho_{aer} = \frac{p \cdot M}{RT}$$

Înlocuind în relaţia (6) şi ţinînd seama de (5'), rezultă:

$$V_{min} = \frac{D_n \cdot t_{cr} \cdot t_{dr} \cdot t_{t\,min} \cdot p}{p_{max} - p_{min}} \qquad (7)$$

Introducînd numărul maxim $N_{c\,max}$ de porniri şi opriri admis în unitatea de timp (oră), rezultă volumul minim al recipientului-tampon:

$$V_{min} = 60 \cdot \frac{D_n[\mathrm{m^3/min}]\, t_{cr} \cdot t_{dr} \cdot p\,[\mathrm{N/m^2}]}{(p_{max}[\mathrm{N/m^2}] - p_{min}[\mathrm{N/mm^2}])\, N_{cmax}[\mathrm{ora^{-1}}]}\,[\mathrm{m^3}] \qquad (8)$$

Concluzii

În cadrul lucrării, urmărindu-se optimizarea funcționării unei instalații de producere a aerului comprimat cu compresoare cu piston de joasă presiune, s-au dedus relații practice pentru aprecierea regimului economic din punctul de vedere al consumului de energie electrică și pentru calculul volumului minim al recipientului-tampon, pe baza considerentelor de economie de energie.

Astfel, pornind de la datele de catalog ale instalației și cele măsurate în regimul II de funcționare a stației (cu regulator mecanic de presiune), se poate aprecia, pe baza criteriului timpului critic de funcționare în gol (t_{dcr} — determinat cu relația (3)), dacă este sau nu preferabilă, din punctul de vedere al consumului de energie electrică, funcționarea cu deconectarea intermitentă a motorului de antrenare de la rețea (regimul III). În caz afirmativ ($t_d > t_{dcr}$), pentru un număr de porniri și opriri maxim admis în unitatea de timp, $N_{c\,max}$, se determină cu relația (8) volumul minim, V_{min}, necesar al recipientului-tampon. Dacă volumul V al recipientului-tampon este mai mic decît V_{min}, pentru a nu se depăși numărul maxim de deconectări pe unitatea de timp $N_{c\,max}$, se impune racordarea în paralel a altor recipiente, astfel ca volumul total: $V_t \geqslant V_{min}$.

Economia relativă de energie electrică care se realizează prin trecerea de la regimul II la regimul III variază în limite largi; din acest motiv se impune efectuarea calculelor prezentate în lucrare și în anexă, pe baza cărora se va stabili oportunitatea unuia sau altuia dintre regimurile de funcționare.

ANEXĂ

Exemplu de calcul

Se consideră o instalație de producere a aerului comprimat, dotată cu un compresor EC5, antrenat de un motor electric asincron.

Date de catalog

$$\left.\begin{aligned} D_n &= 4{,}8\ \text{m}^3/\text{min} \\ p_n &= 8 \cdot 10^5\ \text{N/m}^2 \end{aligned}\right\}\ \text{ref. compresor}$$

$$\left.\begin{aligned} P_n &= 40\ \text{kW} \\ n &= 1460\ \text{rot/min} \end{aligned}\right\}\ \text{ref. motor}$$

$V = 4\ \text{m}^3$ ref. recipient tampon

$J = 35\ \text{N} \cdot \text{m}^2$ (moment de inerție al părților mobile)

Mărimi măsurate în regimul II de funcționare

$p_{max} = 7 \cdot 10^5\ \text{N/m}^2$

$p_{min} = 5 \cdot 10^5\ \text{N/m}^2$

$t_c = 80\ \text{s}$

$t_d = 120\ \text{s}$

$P_s = 20\ \text{kW}$

$P_0 = 9\ \text{kW}$

Calculul timpului critic de funcționare în gol

$$t_{dcr} = \frac{W_p}{P_0} = \frac{2J \cdot \left(\frac{2\pi n}{60}\right)^2 \cdot \frac{1}{2}}{P_0} = \frac{35 \cdot \left(\frac{2\pi \cdot 1460}{60}\right)^2}{9 \cdot 10^3} = 90{,}82\ \text{s}$$

Deoarece: $t_d = 120\ \text{s} > t_{dcr} = 90{,}82\ \text{s}$,

funcționarea în regimul III (cu deconectarea de la rețea a motorului de antrenare) este mai economică din punctul de vedere al consumului de energie electrică.

Calculul volumului minim al recipientului-tampon

Dacă se impune numărul maxim $N_{c\,max} = 15$ conectări și deconectări pe oră, rezultă capacitatea V_{min} a recipientului-tampon:

$$V_{min} = 60\,\frac{4{,}8 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}6 \cdot 6 \cdot 10^5}{(7-5) \cdot 10^5 \cdot 15} = 13{,}82\ \text{m}^3,$$

unde

$$t_{cr} = \frac{80}{200} = 0{,}4\,;\quad t_{dr} = \frac{120}{200} = 0{,}6.$$

Pentru funcționarea în regimul III, este necesară racordarea încă a unui recipient de minimum $13{,}8 - 4 \simeq 10\ \text{m}^3$.

Calculul economiei relative de energie electrică

$$\Delta W = \frac{\Delta W}{W_{tot}} = \frac{(t_{dr} \cdot P_0 - N_c \cdot W_p)}{(t_{dr} \cdot P_0 + t_{cr} P_s)} \cdot 100[\%] =$$

$$= \frac{0{,}6 \cdot 9 - 15 \cdot 0{,}227}{0{,}6 \cdot 9 + 0{,}4 \cdot 28} \cdot 100 = 12{,}01\%,$$

unde

$$W_p = 35 \left(\frac{2\pi \cdot 1460}{60}\right)^2 = 817\ \text{kWs} = 0{,}227\ \text{kWh}.$$

Bibliografie

[1] Cosoroabă, V. *Compresoare de aer cu piston.* Editura tehnică, București, 1964.

[2] Mereuță, C. *Măsuri practice generale pentru economisirea energiei electrice în industrie.* Editura tehnică, București, 1975.

[3] Berinde, T. ș.a. *Întocmirea și analiza bilanțurilor energetice în industrie.* Editura tehnică, București, 1976.

[4] Dordea, T. *Mașini electrice.* Editura didactică și pedagogică, București, 1977.

[5] * * * *Instrucțiuni privind economia de energie la producerea și distribuția aerului comprimat.* PE 933/70.

[6] Moga, M. ș.a. *Bilanțul electroenergetic al Întreprinderii Electrometal Timișoara.* Protocol de contract, 1980.

(Articol înirat în redacție la 29 iunie 1981)

Influența arderii păcurii pulverizate cu abur asupra căldurii utile cedate în cuptoarele dotate cu arzătoare mici

Dr. ing. **Victor Ghia** *)

1. Aspecte generale

În majoritatea cazurilor, cuptoarele de încălzire cu flacără folosind drept combustibil păcura sînt dotate cu arzătoare mici avînd puterea termică unitară inferioară la 500 kW.

Astfel, cuptoarele mari de acest tip, pentru încălzirea uniformă a metalului sînt prevăzute cu un număr relativ mare de asemenea arzătoare. În tehnica mondială, la arzătoarele mici, în numeroase cazuri se folosește pulverizarea păcurii cu abur.

Dintre avantajele acestui sistem de pulverizare se menționează următoarele :

— obținerea unei foarte bune finețe de pulverizare ;

— exploatarea mai comodă deoarece se micșorează posibilitatea de cocsare a injectorului, iar curățirea acestuia se poate face prin purjare chiar fără demontare ;

— posibilitatea preîncălzirii aerului de ardere la temperaturi mult mai ridicate decît la pulverizarea păcurii cu aer de joasă presiune sau la pulverizarea prin injecție mecanică sub presiune ;

— creșterea coeficientului de emisie a gazelor de ardere și a coeficientului de transmitere a căldurii prin convecție de la gazele de ardere la sarjă, ca urmare a creșterii conținutului de vapori de apă din produsele arderii.

Folosirea aburului ca agent de pulverizare comportă și unele dezavantaje, dintre care se menționează :

— micșorarea temperaturii flăcării, în special datorită faptului că aburul acționează ca agent de răcire ;

— creșterea debitului gazelor de ardere evacuate din cuptor, ceea ce mărește pierderile de căldură la coș ;

— creșterea pierderilor prin metal oxidat, mai ales dacă păcura are un conținut ridicat de sulf ;

— necesitatea unui consum de abur relativ ridicat, în special cînd se utilizează un număr mare de arzătoare dereglate ;

— creșterea punctului de rouă al gazelor de ardere, ceea ce micșorează posibilitatea potențială de recuperare a căldurii conținute în gazele de ardere evacuate.

Dintre celelalte sisteme de pulverizare, numai pulverizarea cu aer comprimat dă aceleași foarte bune caracteristici de pulverizare ca pulverizarea cu abur [1]. Prețul aerului comprimat este însă sensibil mai ridicat decît al aburului, care în plus se poate obține mai comod.

În cele ce urmează, pe baza dezvoltării unei metode de calcul, se clarifică influența aburului folosit la pulverizarea păcurii asupra temperaturii teoretice de ardere, căldurii utilizabile și coeficientului de negreală al gazelor de ardere.

În ultima parte a lucrării se analizează efectul aburului de pulverizare ca factor de creștere a pierderilor prin metal oxidat, comparîndu-se cu acțiunea de oxidare produsă de arderea gazului metan.

Astfel rezultă condițiile de utilizare rațională a arzătoarelor mici de păcură cu pulverizarea prin abur, folosite la cuptoare.

2. Temperatura teoretică de ardere

Sub o formă comodă pentru calcule și suficient de precisă, temperatura teoretică de ardere în cazul pulverizării păcurii cu abur se poate obține din relația :

$$t_0 = \frac{P_{ci} + i_c + n L_0 i_a + p i_{ab}}{c_g[V_{g0} + (n-1) L_0] + c_{H_2O} p}, \qquad (1)$$

în care

P_{ci} este puterea calorică inferioară a combustibilului ars, în kJ/kg ;

i_{ab} — entalpia specifică a vaporilor de apă supraîncălziți care servesc la pulverizare, în kJ/kg ;

i_a — entalpia specifică a aerului de ardere, în kJ/kg ;

i_c — entalpia specifică a combustibilului, în kJ/kg ;

c_g — căldura specifică medie la presiune constantă a gazelor rezultate din ardere, în kJ/kg·K ;

c_{H_2O} — căldura specifică medie la presiune constantă a vaporilor de apă, în kJ/kg·K ;

V_{g0} — cantitatea teoretică de gaze rezultate din ardere, în kg/kg ;

L_0 — cantitatea teoretică de aer pentru ardere, în kg/kg ;

p — consumul specific de abur necesar pentru pulverizarea a 1 kg păcură, în kg/kg ;

n — coeficientul excesului de aer pentru ardere.

Temperatura reală a gazelor rezultate din arderea păcurii în spațiul de lucru al cuptorului $t_r < t_0$, deoarece aceasta se poate obține dacă din numărătorul relației (1) se scad :

— căldura cedată produsului tehnologic ;

— căldura cedată mediului ambiant, respectiv căldura acumulată în zidăria și părțile metalice ale spațiului de lucru al cuptorului ;

*) Dr. ing. Victor Ghia este cercetător științific principal I la ICSITEEMR.

— căldura absorbită prin fenomenul de disociație și încălzirea vaporilor de apă din aerul atmosferic.

Rezultă astfel că valoarea temperaturii teoretice t_θ este determinantă pentru temperatura reală t_r.

În general, pentru pulverizarea păcurii se folosește abur puțin supraîncălzit (circa 10°C) la presiuni de 2—10 bar, iar consumul specific de abur la puterea termică nominală pentru cele mai bune arzătoare de păcură de debit mic este $p = 0{,}4-0{,}5$ kg abur/kg păcură.

Din aceste date se poate aprecia că influența factorului p asupra numărătorului relației (2) este mult mai mică decît asupra numitorului aceleiași relații.

Rezultă de aici că prin creșterea lui p temperatura teoretică de ardere t_θ se micșorează sensibil.

Pentru exemplificare, în figura 1 se prezintă variația temperaturii t_θ în funcție de p, pentru arderea la coeficienții exceselor de aer $n = 1{,}25$; 1,4 ; 1,55 a unei păcuri avînd următoarele caracteristici principale : C = 87%, H = 11,4%, S = 0,5%, O = 1,1% și puterea calorică inferioară $P_{ci} = 9\,850$ kcal/kg = 41 200 kJ/kg.

S-a considerat că aburul de pulverizare este folosit la presiunea de 4 bar și temperatura de 150°C. În toate calculele ce se vor efectua în această lucrare se vor considera valabile caracteristicile păcurii și aburului de pulverizare care au fost prezentate.

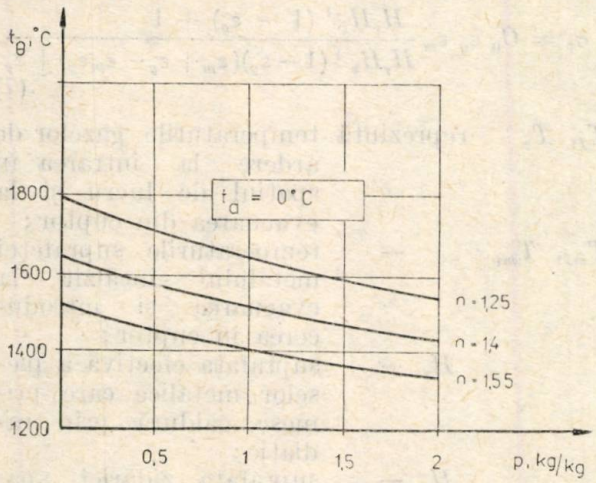


Fig. 1. Variația temperaturii t_θ funcție de p, pentru $n = 1{,}25$, $n = 1{,}4$ și $n = 1{,}55$, la $t_a = 0$°C.

Din figura 1 rezultă că prin arderea păcurii cu aer rece la coeficientul excesului de aer $n = 1{,}25$, pentru $p = 0{,}5$, temperatura t_θ se micșorează cu $\Delta t' = 76$°C, iar pentru $p = 2$ temperatura t_θ se micșorează cu $\Delta t'' = 260$°C. Scăderea temperaturii t_θ odată cu creșterea parametrului p este cu atît mai mică cu cît excesul de aer pentru ardere este mai mare.

Dacă arzătorul de păcură are un domeniu larg de reglaj, deoarece debitul de abur pentru pulverizare variază în limite restrînse, rezultă că la debitul minim de păcură acțiunea de răcire a focarului este foarte puternică.

Cum temperatura din spațiul de lucru este odată impusă de desfășurarea optimă a procesului tehnologic, rezultă că funcționarea cuptorului la încărcarea parțială a vetrei se va face cu un consum mărit de păcură comparativ cu folosirea pulverizării păcurii cu aer.

Aceeași situație va apărea și la cuptoarele de încălzire în perioada de egalizare a temperaturii pe grosimea semifabricatelor metalice, cînd se impune funcționarea la puterea termică parțială a arzătoarelor. Numai astfel se va putea asigura realizarea nivelului de temperaturi ridicat care se cere în spațiul de lucru.

Compensarea scăderii temperaturii focarului datorită aburului se poate face prin funcționarea cu aerul de ardere preîncălzit.

Din relația (1) se obține temperatura de preîncălzire necesară :

$$t_a = \frac{\Sigma\, i_g\, V_g + p(i_{H_2O} - i_{ab}) - P_{ci} - i_c}{n\, L_0\, c_a}, \qquad (2)$$

unde

$$\Sigma\, i_g\, V_g = i_{CO_2} V_{CO} + i_{H_2O} V_{H_2O} + i_{N_2} V_{N_2} + \ldots, \qquad (3)$$

în care

V_{CO_2}, V_{H_2O}, V_{N_2} ... reprezintă cantitățile de CO_2, H_2O, N_2 ... ce rezultă din arderea unității de combustibil la coeficientul excesului de aer n, în kJ/kg ;

i_{CO_2}, i_{H_2O}, i_{N_2} ... — entalpiile specifice ale CO_2, H_2O, N_2... la temperatura teoretică de ardere t_θ, în kJ/kg ;

c_a — căldura specifică medie a aerului la presiune constantă pentru temperatura de preîncălzire, în kJ/kg·K.

Folosind relația (2), rezultă că pentru a se obține $t'_\theta = 1\,800$°C la $p = 0{,}5$ este necesară preîncălzirea aerului de ardere la $t_a = 115$°C, iar pentru a se obține aceeași temperatură teoretică de ardere t'_θ la $p = 2$, trebuie ca $t_a = 447$°C.

În figura 2 se prezintă variația temperaturii teoretice de ardere t_θ în funcție de p, pentru temperatura de preîncălzire a aerului de ardere $t_a = 400$°C, celelalte condiții fiind aceleași ca la curbele trasate în figura 1.

Se poate aprecia că scăderea temperaturii t_θ prin creșterea parametrului p este cu atît mai rapidă cu cît temperatura de preîncălzire t_a este mai ridicată și valoarea excesului de aer pentru ardere este mai mică.

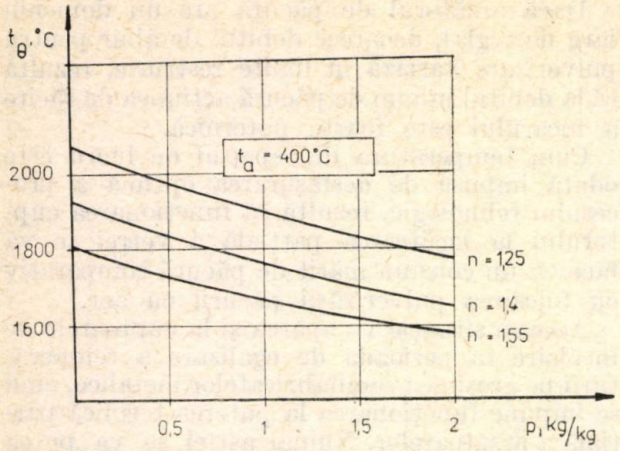


Fig. 2. Variația temperaturii t_θ funcție de p, pentru $n = 1{,}25$, $n = 1{,}4$ și $n = 1{,}55$, la $t_a = 400°C$.

Pentru aceeași valoare a consumului de abur p, temperatura t_θ se mărește odată cu scăderea excesului de aer pentru ardere, într-o proporție cu atît mai mare cu cît n are o valoare mai mică.

3. Căldura utilă, Q_u

La cuptoarele cu flacără pentru încălzit, la temperaturi relativ ridicate, semifabricate metalice, acestea primesc căldura în special prin radiație de la pereții incandescenți ai spațiului de lucru și de la gazele de ardere. De aceea influența asupra căldurii Q_u a variației coeficientului de negreală al gazelor de ardere, ε_g, prin creșterea conținutului de vapori de apă datorită aburului de pulverizare este mică.

Trebuie remarcat și faptul că la arderea păcurii coeficientul de negreală al flăcării, ε_g, are o valoare ridicată, în special datorită conținutului ridicat de particule de funingine pe care le conține.

Pentru calculul coeficientului de negreală, ε_g, în general se folosește o relație de forma [2]:

$$M = \left(\frac{0{,}78 + 1{,}6\ \gamma_{H_2O}}{\sqrt{\frac{p_s}{p_0}\, l}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0{,}37 \frac{T_g}{1000}\right) \frac{p_s}{p_0} + 1{,}5\, \mu \frac{273\, p_g}{T_g p_0 d_m \rho} \tag{5}$$

unde

l este grosimea efectivă a stratului radiant, în m;

γ_{H_2O} — procentul volumetric al vaporilor de apă din gazele de ardere, în %;

p_s — suma dintre presiunile parțiale ale CO_2 și H_2O din gazele de ardere, în N/m^2;

$p_0 = 101\,325\ N/m^2$;

p_g — presiunea gazelor de ardere conținînd particule solide fine în suspensie, în N/m^2;

T_g — temperatura gazelor de ardere, în K;

μ — concentrația masică de particule solide fine în suspensie, în kg/m^3;

ρ — densitatea particulelor solide fine, în kg/m^3;

d_m — diametrul mediu al particulelor solide fine, în m.

Din relația (5) se poate remarca faptul că factorii care măresc pe M și l măresc și coeficientul ε_g.

Pentru arderea păcurii în focarele cuptoarelor, cel mai mult măresc pe ε_g creșterea parametrilor l, p_s, μ și scăderea parametrilor d_m, ρ și T_g.

În cele ce urmează mărimile care caracterizează arderea păcurii pulverizate cu aer comprimat vor fi notate cu indicele 1, iar mărimile ce caracterizează arderea păcurii pulverizate cu abur vor fi notate cu indicele 2.

Astfel, în cazul unui cuptor de încălzire cu funcționare continuă la care predomină transferul de căldură prin radiație, raportul dintre căldurile utile cedate șarjei se poate obține cu suficientă precizie din relația:

$$\frac{Q_{u1}}{Q_{u2}} = \frac{\sigma_{v1}}{\sigma_{v2}} \sqrt{\frac{(T_{f1}^4 - T_{mf}^4)\,(T_e^4 - T_{mi}^4)}{(T_{f2}^4 - T_{mf}^4)\,(T_e^4 - T_{mi}^4)}} \tag{6}$$

unde

$$\sigma_v = C_0\, \varepsilon_g\, \varepsilon_m \frac{H_r H_z^{-1}(1 - \varepsilon_g) + 1}{H_r H_z^{-1}(1 - \varepsilon_g)(\varepsilon_m + \varepsilon_g - \varepsilon_m \varepsilon_g) + \varepsilon_g} \tag{7}$$

T_f, T_e reprezintă temperaturile gazelor de ardere la intrarea în spațiul de lucru și la evacuarea din cuptor;

T_{mf}, T_{mi} — temperaturile suprafeței metalului încălzit la evacuarea și introducerea în cuptor;

H_r — suprafața efectivă a pieselor metalice care primesc căldură prin radiație;

H_z — suprafața zidăriei spațiului de lucru al cuptorului care cedează căldură prin radiație;

ε_m — coeficientul de negreală al suprafeței pieselor metalice încălzite;

C_0 — coeficientul de radiație al corpului absolut negru.

Folosind relația (7), în figura 3 se prezintă dependența coeficientului σ_v de ε_g, ε_m și $\omega = H_r \cdot H_z^{-1}$.

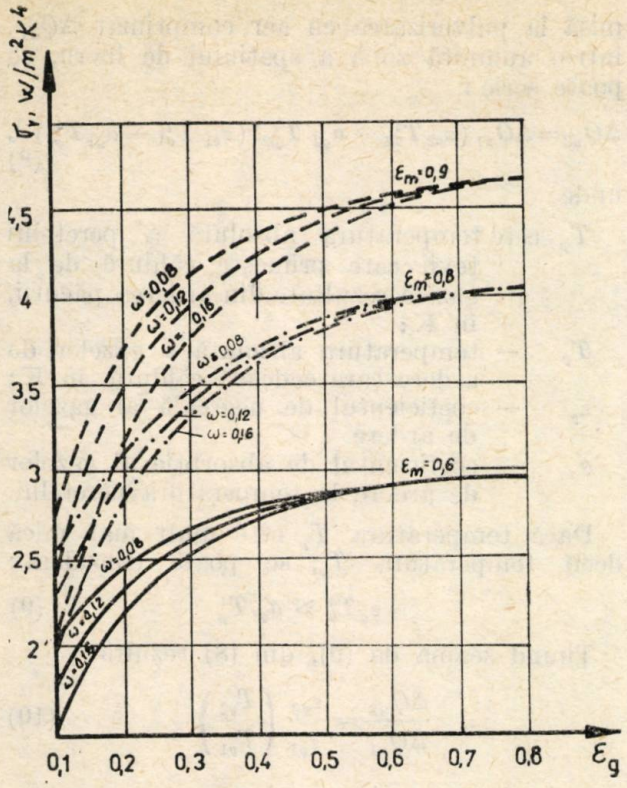


Fig. 3. Variația coeficientului σ_v funcție de ε_g la anumite valori constante ε_m și ω.

Rezultă astfel că la valori relativ ridicate pentru ε_g, coeficientul σ_v se modifică foarte puțin odată cu variația coeficientului ε_g. În cazul cuptoarelor arzînd păcură, coeficientul de negreală al flăcării are o valoare relativ ridicată, care ajunge chiar la 0,9. De aceea se poate admite că $\sigma_{v1} \cong \sigma_{v2}$.

Trebuie menționat că $T_{f1} > T_{f2}$ datorită acțiunii de răcire a aburului folosit la pulverizare, cît și pentru că la pulverizarea cu aer este posibilă arderea păcurii la un exces de aer mai mic.

Rezultă $Q_{u1} > Q_{u2}$, astfel că pulverizarea cu abur poate conduce la micșorarea productivității cuptorului dacă nu se folosește un mijloc adecvat de ridicare a temperaturii T_{f2} pînă la valoarea T_{f1}.

În figura 4 se prezintă curbele de variație a coeficientului ε_g în funcție de distanța de la arzător, pentru trei combustibili care au fost arși în cuptorul experimental de la Ijmuiden [3], în condiții aproximativ identice.

Se constată că la arderea păcurii valoarea maximă a coeficientului de negreală al flăcării $\varepsilon_g = 0{,}9$. Coeficientul ε_g se micșorează treptat, iar către finele procesului de ardere se apropie de valoarea corespunzătoare gazelor rezultate din arderea gazului metan. Produsele arderii gazului de cocserie la finele arderii au o valoare mai ridicată pentru ε_g, comparativ cu produsele arderii complete a păcurii, datorită

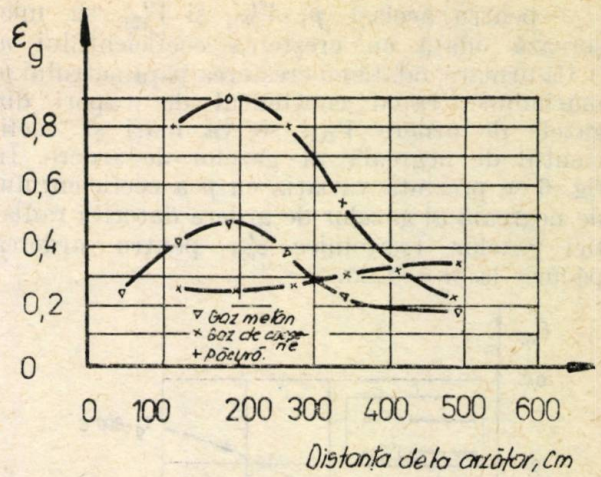


Fig. 4. Dependența coeficientului ε_g de distanța de la arzător, pentru arderea păcurii, gazului de cocserie și gazului metan.

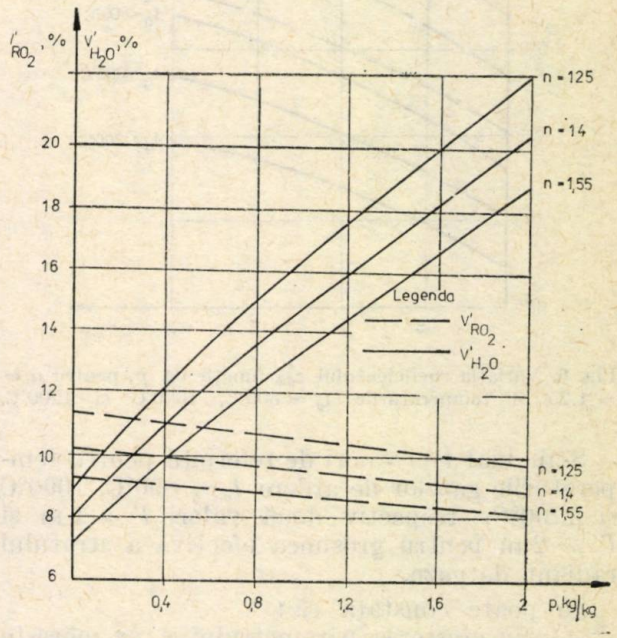


Fig. 5. Variația conținuturilor V'_{RO_2} și V'_{H_2O} în funcție de p pentru $n = 1{,}25$, $n = 1{,}4$ și $n = 1{,}55$.

conținutului mult mai ridicat de H_2O al acestora.

Un efect similar va avea și pulverizarea păcurii cu abur comparativ cu pulverizarea cu aer comprimat. Pentru clarificarea acestei probleme, mai întîi este prezentată în figura 5 variația conținutului procentual de gaze radiante V'_{H_2O} și V'_{RO_2} în funcție de parametrul p, pentru aceeași compoziție de păcură ca cea considerată anterior. Calculele s-au efectuat pentru trei valori ale coeficientului excesului de aer $n = 1{,}25$, 1,4 și $n = 1{,}55$.

Se poate constata că:

— pentru același n, V'_{RO_2} se micșorează, iar V'_{H_2O} se mărește rapid odată cu creșterea parametrului p;

— pentru același p, V'_{RO_2} și V'_{H_2O} se micșorează odată cu creșterea coeficientului n.

Ca urmare, odată cu creșterea parametrului p, mărindu-se rapid conținutul de vapori din gazele de ardere V'_{H_2O}, se va mări și coeficientul de negreală al gazelor de ardere. În fig. 6 se prezintă variația cu p a coeficientului de negreală al gazelor de ardere datorită radiației gazelor triatomice ε'_{g2}, pentru arderea păcurii la $n = 1{,}25$.

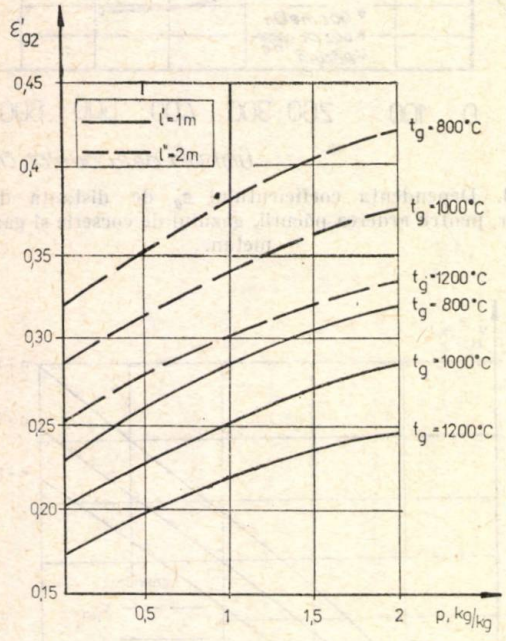


Fig. 6. Variația coeficientului ε'_{g2} funcție de p, pentru $n = 1{,}25$ și temperaturile $t_g = 800°C$, $1000°C$ și $1200°C$.

S-au luat trei valori de referință pentru temperaturile gazelor de ardere $t_g = 800°C$, $1000°C$ și $1200°C$, respectiv două valori $l' = 1$ m și $l'' = 2$ m pentru grosimea efectivă a stratului radiant de gaze.

Se poate constata că:

— prin creșterea parametrului p, se mărește coeficientul ε'_{g2} cu atît mai lent cu cît p are o valoare mai mare;

— pentru aceeași variație a lui p, variația coeficientului ε'_{g2} este cu atît mai mare cu cît temperatura t_g este mai mică;

— prin creșterea de două ori a grosimii efective a stratului radiant l, coeficientul ε'_{g2} se mărește cu 35—45%.

Pentru $t_g = 800°C$, prin creșterea parametrului p de la zero la 2, coeficientul ε'_{g2} crește cu $\Delta\varepsilon'_g = 31\%$.

În cazul cuptoarelor cu pereții interiori ai spațiului de lucru răciți de țevi prin care circulă produsul tehnologic, așa cum se întîmplă la numeroase cuptoare din rafinării, de asemenea scăderea temperaturii gazelor de ardere la pulverizarea cu abur are un rol hotărîtor. Astfel, comparînd căldura utilă ΔQ_{u2} transmisă la pulverizarea cu abur și căldura utilă transmisă la pulverizarea cu aer comprimat ΔQ_{u1}, într-o anumită zonă a spațiului de lucru, se poate scrie:

$$\Delta Q_{u2} = \Delta Q_{u1} (\varepsilon_{g2} T_{g2}^4 - a_{g2} T_{p2}^4)(\varepsilon_{g1} T_{g1}^4 - a_{g1} T_{p1}^4)^{-1}, \quad (8)$$

unde

T_p este temperatura absolută a peretelui țevii care primește căldură de la gazele rezultate din arderea păcurii, în K;

T_g — temperatura absolută a gazelor de ardere care cedează căldură, în K;

ε_g — coeficientul de negreală al gazelor de ardere

a_g — coeficientul de absorbție al gazelor de ardere la temperatura peretelui.

Dacă temperatura T_p este mult mai mică decît temperatura T_g, se poate considera:

$$\varepsilon_g T_g^4 \gg a_g T_p^4 \quad (9)$$

Ținînd seama de (9), din (8) rezultă:

$$\frac{\Delta Q_{u2}}{\Delta Q_{u1}} = \frac{\varepsilon_{g2}}{\varepsilon_{g1}} \left(\frac{T_{g2}}{T_{g1}}\right)^4 \quad (10)$$

Întrucît $T_{g1} > T_{g2}$, deși arderea se desfășoară la același exces de aer, chiar dacă $\varepsilon_{g2} > \varepsilon_{g1}$, în general $\Delta Q_{u2} < \Delta Q_{u1}$, deoarece ponderea scăderii temperaturii gazelor de ardere este hotărîtoare.

Condițiile ideale pentru încălzirea metalului în cuptoare ar fi acelea care nu dau loc la o acțiune reciprocă între metal și gazele de ardere.

Oxidarea metalului este determinată în special de prezența produselor de ardere SO_2, H_2O și CO_2. Vaporii de apă au o acțiune oxidantă mai intensă decît bioxidul de carbon. S-a constatat că la combustibilii care conțin o cantitate mai mare de apă, pierderile prin oxidarea oțelului sînt mai mari. Viteza de oxidare se mărește rapid în intervalul 900—1350°C, iar peste 1350°C viteza de oxidare se mărește brusc.

Rezultatele practice au arătat că intensitatea oxidării este mai mare la arderea gazelor naturale decît la arderea păcurii, deoarece conținutul procentual de H_2O din produsele arderii păcurii pulverizate cu aer este mai mic.

Dacă arderea păcurii se realizează la coeficientul excesului de aer n_2, din ecuația de ardere pentru păcura analizată se deduce expresia conținutului procentual de H_2O din gazele de ardere:

$$V'_{H_2O} = \frac{1{,}2768 + 1{,}245\, p}{0{,}63162 + 10{,}8373\, n_2 + 1{,}245\, p} \quad (11)$$

Conținutul procentual de H_2O din gazele provenite din arderea metanului la coeficien-

tul excesului de aer n_{CH_4} se poate obține sub forma :

$$V''_{H_2O} = \frac{2}{1 + 9{,}52\, n_{CH_4}} \qquad (12)$$

Punînd condiția $V'_{H_2O} = V''_{H_2O}$, se poate determina consumul specific admisibil p_a în această ipoteză :

$$p_a = \frac{21{,}6746 n_2 - 12{,}1551 n_{CH_4} - 0{,}01356}{11{,}8524\ n_{CH_4} - 1{,}245} \qquad (13)$$

Dacă se ia $n_2 = 1{,}25$ și $n_{CH_4} = 1{,}15$ se obține $p_a = 1{,}0578$ kg/kg.

Întrucît $V'_{CO_2} = 10{,}49\%$, iar $V''_{CO_2} = 8{,}37\%$, rezultă că în acest caz, din cauza conținutului mai ridicat de bioxid de carbon, pierderile prin oxidare vor fi mai mari la arderea păcurii pulverizate cu abur comparativ cu arderea metanului, deși $V'_{H_2O} = V''_{H_2O}$.

Valoarea p_a poate fi mult depășită la puterea termică minimă a arzătorului dacă acesta are un domeniu larg de reglaj. Deoarece la cuptoarele de încălzire, în perioada de menținere a țaglelor în cuptor pentru egalizarea temperaturii în secțiune, se funcționează la puterea termică parțială a arzătoarelor, rezultă că în general oxidarea va fi mai intensă ca la arderea metanului.

Comparativ cu arderea păcurii pulverizate cu aer, oxidarea oțelului încălzit este mult mai intensă la pulverizarea cu abur, datorită creșterii rapide cu p a conținutului de vapori de apă din gazele de ardere, după cum rezultă din figura 5.

Dacă arzătoarele sînt dereglate și au un consum de abur p ridicat, pierderile prin oțel oxidat pot fi importante, ceea ce micșorează căldura cedată în spațiul de lucru al cuptorului care se folosește util și mărește pierderile de metal.

Pentru utilizarea rațională a arzătoarelor de păcură cu pulverizare prin abur, este necesar să se micșoreze dezavantajele care apar prin micșorarea consumului specific de abur p. Deoarece, în majoritatea cazurilor practice, debitul de abur pentru pulverizare variază puțin odată cu variația debitului de păcură, rezultă că la debitul minim de păcură dezavantajele vor fi maxime. De aceea trebuie evitată, dacă este posibil, funcționarea arzătoarelor la un debit de păcură micșorat comparativ cu debitul nominal.

În acest caz micșorarea puterii termice a cuptorului se realizează prin oprirea funcționării unora dintre arzătoarele cu care este dotat. Pentru situațiile concrete care apar în practică, numai printr-un calcul tehnico-economic se poate stabili care este soluția optimă : pulverizarea cu abur sau cu aer comprimat.

Bibliografie

[1] Hansen, W. *Ölfeuerungen.* Springer-Verlag, Berlin, 1970.

[2] * * * *Teplotehniceskie sprovocinik.* Energhiia, Moscova, 1977.

[3] Brunklaus, J. H. *Industrieofen.* Vulkan-Verlag, Essen, 1969.

(Articol intrat în redacție la 24 iulie 1981)

Reducerea consumurilor specifice de combustibil și energie electrică în centralele electrice

Posibilități de mărire a debitului morilor-ventilator de debite mari

dr. ing. **N. Pănoiu**
și ing. **L. Mihăescu** *)

Morile-ventilator, prin calitățile lor de a realiza simultan procesul de măcinare și vehiculare a agentului de uscare, s-au răspîndit pe scară largă la cazanele destinate arderii cărbunilor bruni, combustibili care necesită o cantitate sporită de căldură pentru uscare înainte de ardere. Dacă la început moara s-a dezvoltat ca moară-ventilator simplă sau ca moară combinată (avînd ciocane înaintașe), în prezent, la debite de peste 100 t/h, toți constructorii au trecut la morile-ventilator combinate, cu mențiunea că unele soluții realizează partea înaintașă cu ciocane acționată de la axul morii-ventilator, iar altele cu acționare separată. În asemenea construcții s-au atins debite unitare de 180—200 t/h, debite considerate ca limită în momentul de față din punctul de vedere al solicitării materialului discului rotorului și al calității oțelurilor folosibile la piesele mobile. În momentul de față cele mai mari mori construite în Europa sînt DGS 180 (construcție Babcock), MVC 105 (construcție Vulcan—București), N 270—45 (construcție EVT) de 130—135 t/h.

*) Conf. dr. ing. Nicolae Pănoiu și șef lucrări ing. Lucian Mihăescu sînt cadre didactice la Catedra de cazane și turbine din Institutul Politehnic București.

Debitul morii-ventilator, simplă sau combinată, se calculează cu relaţia :

$$B = C_{constr} \cdot C_{sarc} \cdot C_{măc} \cdot C_{fin} \cdot C_{vent} \text{ [kg/s]}, \quad (1)$$

unde C_{constr} — factorul constructiv — este dat de relaţia :

$$C_{constr} = 0{,}032 \cdot D_r u_r b_p K_u, \quad (2)$$

în care

D_r este diametrul rotorului, m ;
u_r — viteza periferică a rotorului, m/s ;
b_p — lăţimea paletei, m ;
K_u — coeficient de scădere a debitului ca urmare a uzurii.

Factorii de încărcare, C_{sarc}, şi de ventilaţie, C_{vent}, au valori unitare ($C_{sarc} = 1$; $C_{vent} = 1$), ca urmare a faptului că ventilarea lor este mult superioară celorlalte tipuri de mori.

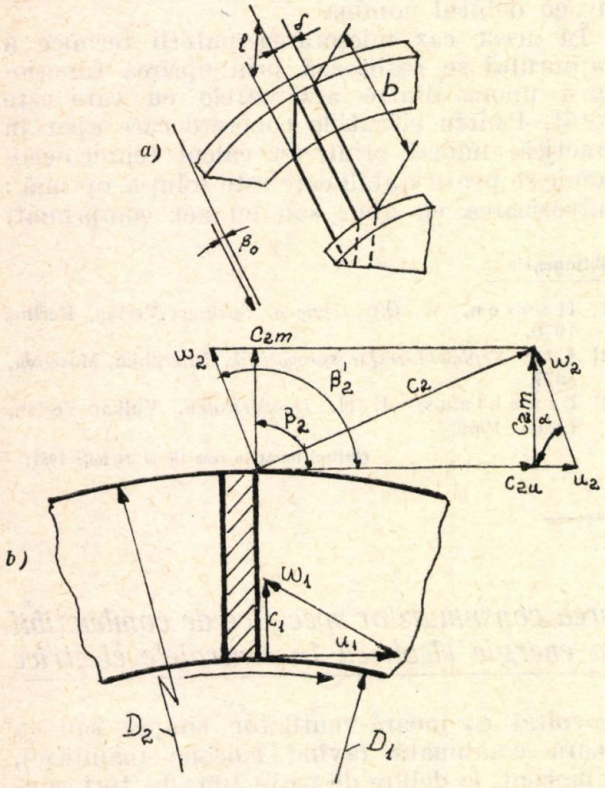


Fig. 1.

În figura 1 sînt prezentate datele geometrice ale rotorului şi triunghiul vitezelor la intrarea şi ieşirea din paletele morii.

Calitatea combustibilului măcinat în moară condiţionează debitul morii prin factorul de măcinabilitate, $C_{măc}$, dat de relaţia :

$$C_{măc} = m_{VTI} \frac{K_{u1} - K_{u2}}{K_f} \quad (3)$$

Acest factor depinde direct de coeficientul de măcinabilitate a combustibilului, m_{VTI}, şi de o serie de factori de umiditate şi granulaţie a combustibilului la intrarea în moară, astfel ;

$$K_{u1} = \sqrt{\frac{(W^i_{max})^2 - W^2_{med}}{(W^i_{max})^2 - (W^a_a)^2}}, \quad (4)$$

în care W^i_{max} reprezintă umiditatea maximă la intrarea în moară şi este dată de relaţia :

$$W^i_{max} = 1 + 1{,}07\, W^i_t \quad (5)$$

W_{med} — umiditatea medie din moară — rezultă din relaţia :

$$W_{med} = \frac{W^i_m + 3W_{praf}}{4}, \quad (6)$$

unde

$$W^i_m = \frac{W^i_t(100 - W_{praf}) - 100\,(W^i_t - W_{praf}) \cdot a}{(100 - W_{praf}) - (W^i_t - W_{praf}) \cdot a}$$

reprezintă umiditatea combustibilului la intrarea în moară, a fiind cota de umiditate evaporată în turnul de uscare :

$$a = 0{,}4 \div 0{,}5$$

$$K_{u2} = \frac{100 - W_{med}}{100 - W^i_t} \quad (8)$$

Factorul de granulaţie K_f depinde de granulaţia la intrarea în moară, exprimată prin restul pe sita de 5 mm, şi are valoarea :

R 5 mm(%)	5	10	15	20	25	30	35	40
K_f	0,85	0,91	0,96	1	1,05	1,05	1,07	1,09

Un alt factor care condiţionează debitul morii este factorul de fineţe a prafului realizată în moară şi este exprimat prin restul pe sita cu ochiul de 90 μm

$$C_{fin} = \frac{1}{\sqrt{\ln \frac{100}{R_{90}}}} \quad (9)$$

Combustibilul solid, în cursul procesului de măcinare, se usucă pînă la umiditatea prafului W_{praf}, fiind necesar ca moara să vehiculeze o cantitate de agent de uscare dată de relaţia :

$$Q_{gu} = B \cdot V_{gu} \text{ [m}^3\text{/s]}, \quad (10)$$

în care V_{gu} este cantitatea de agent de uscare necesară pentru deshidratarea combustibilului de la umiditatea W^i_t la umiditatea W_{praf}, cantitatea de apă evaporată dintr-un kg de combustibil fiind dată de relaţia :

$$\Delta W = \frac{W^i_t - W_{praf}}{100 - W_{praf}} \text{ [kg/kg]} \quad (11)$$

Pentru transportul pneumatic al prafului, moara trebuie să dezvolte o presiune capabilă să învingă rezistența rețelei hidraulice, presiunea totală realizată putîndu-se calcula cu relația :

$$H_{gu,t} = \rho_{gu} u_r^2 \psi = \rho_{gu} \cdot u_r^2 (1 - K)\eta_h [\text{Pa}], \quad (12)$$

în care

ρ_{gu} este densitatea agentului de uscare ;
ψ — un coeficient de presiune ce depinde de caracteristicile constructive ale morii ;
η_h — randamentul hidraulic al rotorului.

În cazul în care agentul de uscare transportă și praf, presiunea totală creată de rotor se reduce la valoarea :

$$H_{gu,p} = \frac{H_{gu,t}}{1 + 1{,}5\,\mu_m} [\text{Pa}], \quad (13)$$

μ_m fiind concentrația prafului în agentul de uscare la intrarea în separator, dat de relația :

$$\mu_m = \frac{B(100 - W_l^i) K_r}{(100 - W_{praf}) Q_{gu} \rho_{gu}} \quad (14)$$

[kg comb./kg agent uscare],

în care K_r este coeficient de recirculare a combustibilului (la mori-ventilator cu separator, $K_r = 4$).

Cantitatea de agent de uscare, Q_{gu}, vehiculat de moară se poate calcula cu relația :

$$Q_{gu} = 0{,}8\, D_r^2\, u_r \varphi \quad [\text{m}^3/\text{s}], \quad (15)$$

unde φ este coeficient de debit.

Debitul de fluid vehiculat de moară poate fi suplimentat cu o cotă de aer (aerul primar), impusă de bilanțul termic de uscare a combustibilului în moară, de menținerea concentrației fazei solide sub limita de înfundare și de necesarul de aer primar în faza de aprindere a particulelor în jetul primar.

Puterea necesară pentru ventilație este dată de relația :

$$P_v = \frac{Q_{gu} \cdot H_{gu,t}}{102 \eta_v \cdot \eta_{el}}, \ [\text{kW}] \quad (16)$$

Puterea totală (măcinare și transport pneumatic) se poate calcula cu relația :

$$P_t = P_v \frac{1 + 1{,}9\,\mu_m}{1 + 1{,}5\,\mu_m} [\text{kW}] \quad (17)$$

Rezultă că performanțele unei mori-ventilator depind atît de o serie de factori constructivi, cît și de o serie de factori de exploatare.

În ceea ce privește factorii constructivi, aceștia pot fi analizați ca influență sub forma lor adimensională [2] :

$$\frac{D_2}{D_1} ; \ \frac{b}{D_2} = \bar{b} ; \ \frac{l}{D_2} = \bar{l} ; \ \frac{t}{D_2} = \frac{\pi}{m}, \quad (18)$$

în care

D_1 este diametrul interior al rotorului, m ;
D_2 — diametrul exterior al rotorului, m ;
b — lățimea paletei, m ;
l — înălțimea paletei, m ;
t — pasul paletelor, m ;
m — numărul paletelor.

În afară de aceste mărimi adimensionale, asupra performanțelor morii mai intervine viteza periferică a rotorului, u_r, și, conform teoriei rețelelor de palete, factorul de transparență al rotorului, K, dat de relația :

$$K = e^{-\pi l/t} \quad (19)$$

Geometria rotorului influențează debitul de fluid vehiculat, conform relației :

$$Q_{gu} = \xi (\pi D_2 - \delta m)\, b \frac{K u_r m}{3(1 - K)} = \varphi \pi D_2 b u_r \quad (20)$$

în care ξ reprezintă coeficientul de contracție a jetului, iar δ — grosimea paletelor.

$$\varphi = \xi \left(1 - \frac{\delta}{t}\right) \frac{Km}{3(1 - K)} = \frac{Q_{gu}}{F_2 u_r} \quad (21)$$

F_2 fiind secțiunea de ieșire a agentului de uscare din rotor.

Influența caracteristicilor constructive ale morii asupra randamentului se arată în figura 2.

Din această figură se observă ca optime mărimile caracteristice date de relațiile :

$$\begin{aligned} \bar{b} &= 0{,}23 \div 0{,}30 \\ \bar{l} &= 0{,}16 \div 0{,}18 \\ m &= 6 \div 12 \\ u_r &= 75 \div 85 \text{ m/s} \\ K &= 0{,}14 \div 0{,}22 \end{aligned} \quad (22)$$

Variația randamentului de ventilație η_v, a coeficienților de debit φ și de presiune ψ, funcție de transparența rotorului K, este dată în figura 3 pentru diverse lățimi raportate ale paletelor rotorului.

Din figură se observă ca optim domeniul pentru factorul de transparență $K = 0{,}14 \div 0{,}22$.

O atenție deosebită se acordă și formei paletelor, tendința actuală fiind părăsirea construcției cu l = ct. și adoptarea unei forme alungite spre axul morii, în vederea unei umpleri mai

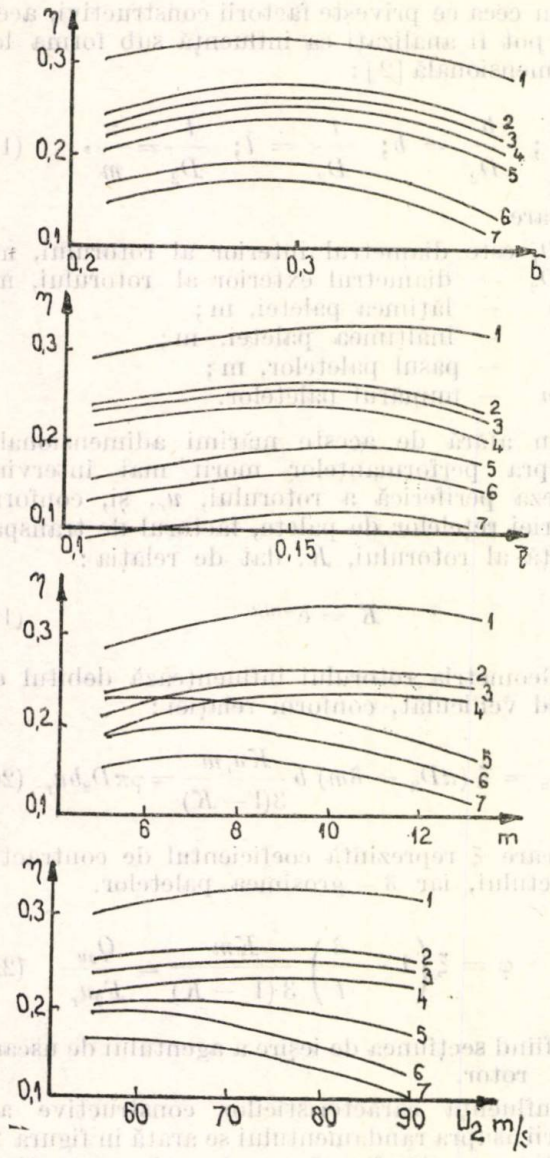


Fig. 2. Influenţa caracteristicilor constructive ale rotorului asupra randamentului:

1 — randamentul de ventilaţie la $\mu = 0$; *2—4* — randamentul total la $\mu = 0{,}14$; 0,19; 0,23; *5—7* — randamentul de măcinare la $\mu = 0{,}23$; 0,19; 0,14 (unde $\bar{b} = b/D_2$, $\bar{l} = l/D_2$).

bune şi a unei eroziuni mai uniforme, aşa cum se arată la construcţia morii DGS 130— fig. 4.a şi a morii DGS 180 — fig. 4 *b*.

O altă soluţie constructivă a rotorului cuprinde varianta $b \neq$ ct., schiţa din fig. 4 *c* arătînd modificarea rotorului unei mori de 60 t/h în sensul măririi lăţimii paletelor, modificare ce a condus la rezultate foarte bune [1].

Se remarcă de asemenea tendinţa măririi numărului de rînduri de ciocane odată cu mărirea debitului morii, paralel cu o introducere secantă a combustibilului în partea ciocanelor.

Cercetările efectuate pe o moară MVC—105 la CTE Rovinari au arătat că, la mărirea diametrului exterior D_2 de la 3,5 m la 3,63 m pentru $D_1 = 2400$ mm, a vitezei periferice u_r (prin mărirea turaţiei de la 464 rot/min la

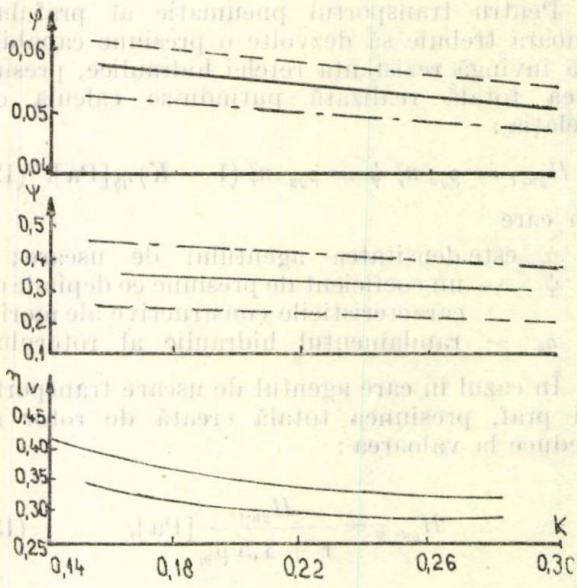


Fig. 3. Variaţia coeficientului de debit φ, a coeficientului de presiune ψ şi a randamentului de ventilaţie η_v funcţie de factorul de transparenţă al rotorului, $K = e^{-\pi l/t}$

490 rot/min), s-a obţinut o mărire a debitului morii cu circa 5% [3].

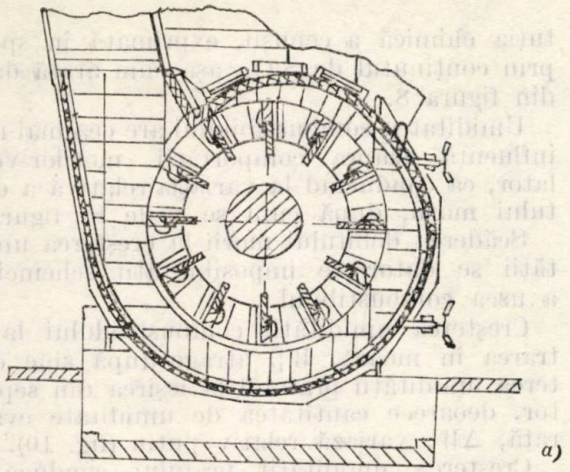
Din cele prezentate în figurile 2 şi 3 se constată că, în general, parametrii constructivi ai morii nu au decît influenţe reduse asupra performanţelor şi că încă de la proiectare aceştia pot fi plasaţi în zonele valorilor optime.

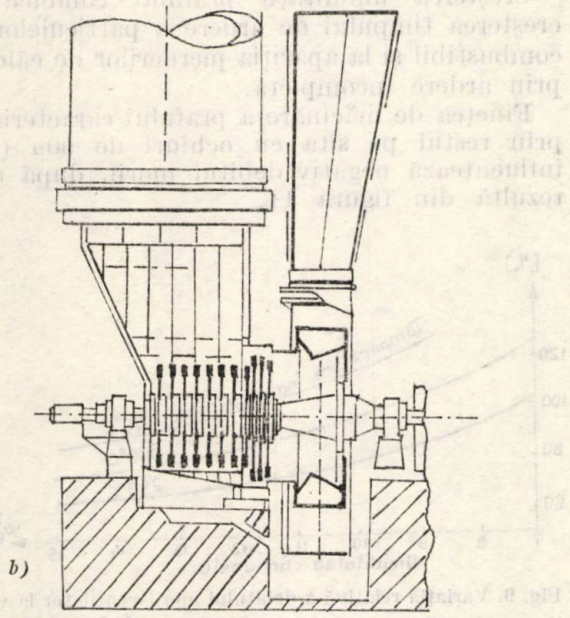
Parametrii de exploatare au însă influenţe cu mult mai importante. Astfel, o concasare prealabilă bine aleasă poate aduce variaţii ale debitului de $\pm 10\%$ faţă de o situaţie de referinţă caracterizată prin $R_{5mm} = 20\%$, mai cu seamă pentru ligniţii din ţara noastră, caracterizaţi printr-un mare conţinut de umiditate (W_t^t) şi cenuşă (A^t), aşa cum rezultă din diagrama din figura 5, care prezintă comparativ mai mulţi combustibili solizi din lume [4].

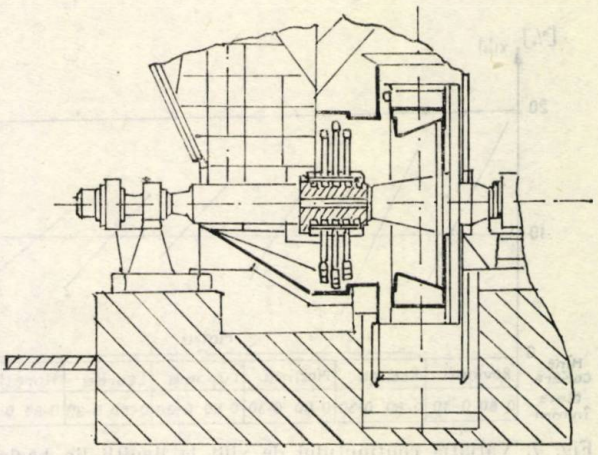
Coeficientul de măcinabilitate a combustibilului va influenţa debitul morii, după cum se vede din figura 6 [3].

Acest coeficient este modificat în măsură foarte importantă de fracţiile de xilită, şi, ca urmare, la apariţia acestora în combustibil, este de aşteptat o reducere a debitului morilor corelată cu o scădere importantă a fineţii de măcinare şi o creştere a pierderilor de căldură prin ardere incompletă din punct de vedere mecanic.

În lucrarea [5] se evidenţiază calitatea lignitului din cel mai mare bazin carbonifer al ţării, Rovinari-Motru, analizele microscopice arătînd că aceşti ligniţi apar ca o masă humică care cimentează lentilele de xilit orientate paralel cu stratificaţia şi avînd grosimi variind între 0,5 şi 5 mm (intercalaţiile de ordinul centimetrilor apărînd rareori). În figura 7 se prezintă conţinutul de xilit pentru aceşti ligniţi, cuprins în limitele 16,4—33,2% din cărbu-







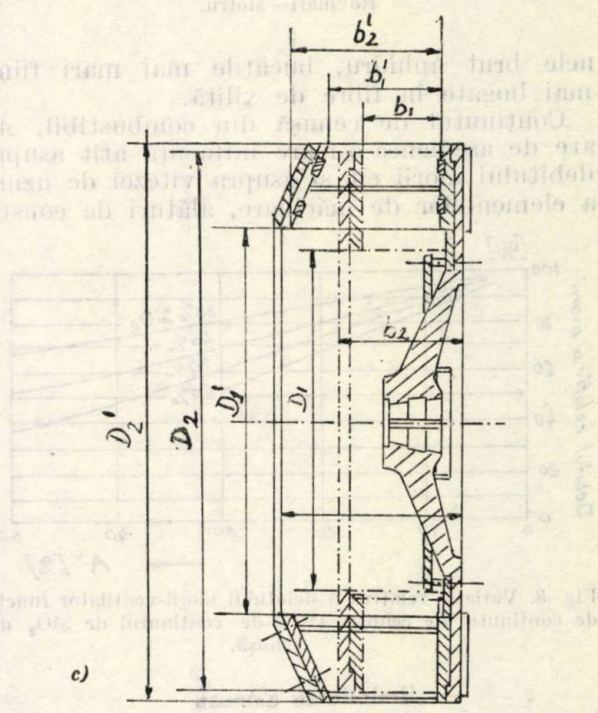


Fig. 4. Soluţii constructive pentru rotoarele morilor de debit foarte mare :

a, *b* — rotor cu înălţimea paletelor variabilă ($l \neq$ ct.); *c* — rotor cu lăţimea paletelor variabilă ($b \neq$ ct.); cu linie punctată s-a reprezentat rotorul iniţial, iar cu linie continuă rotorul modificat.

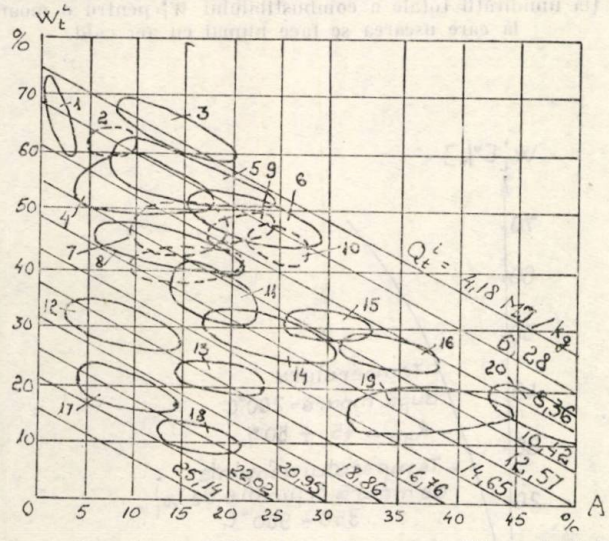


Fig. 5. Caracteristicile lignitului din bazinul Oltenia faţă de alţi combustibili solizi măcinaţi cu ajutorul morilor-ventilator cu ciocane :

1 — Yallourn (Australia); *2* — Hagenwerder (R.D.G.); *3* — Megalopolis (Grecia); *4* — Neurath (R.F.G.); *5* — Ptolemais (Grecia); *6* — Gyongyos (Ungaria); *7* — Turrow (Polonia); *8* — Helmstadt (R.F.G.); *9* — Puentes (Spania); *10* — Craiova (R.S.R.); *11* — Aliveri (Grecia); *12* — Socolov (R.S.C.); *13* — Tunkbilek (Turcia); *14* — St. Wortsberg (Austria); *15* — Tribovne (Iugoslavia); *16* — Melinic (R.S.C.); *17* — Most (R.S.C.); *18* — Nertsem Peinenberg (R.F.G.); *19* — Bobov-Dol (R.P.B.); *20* — Tunkbilek II (Turcia).

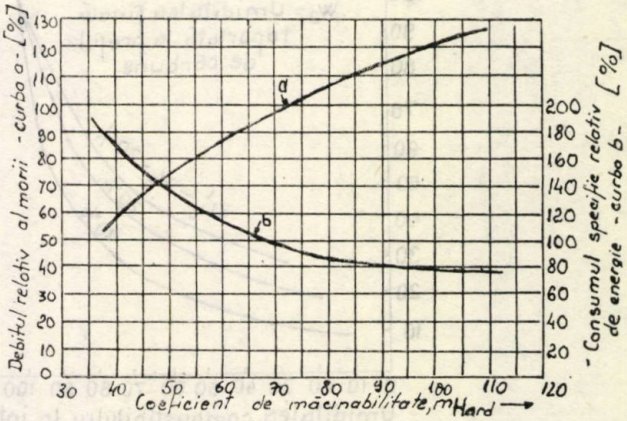


Fig. 6. Variaţia relativă a debitului morii-ventilator funcţie de debitul de calcul la variaţia coeficientului de măcinabilitate.

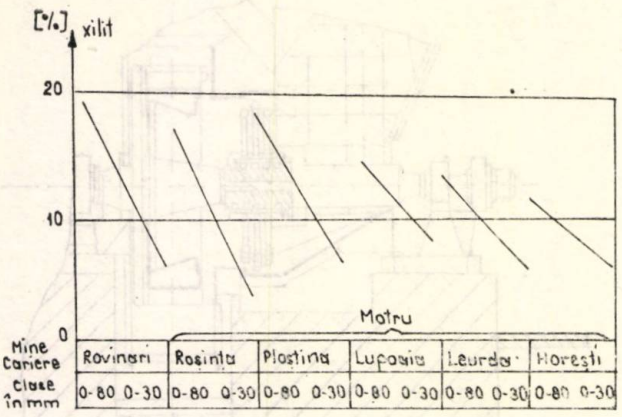


Fig. 7. Variaţia conţinutului de xilit la lignitii din bazinul Rovinari — Motru.

nele brut anhidru, bucăţile mai mari fiind mai bogate în fibre de xilită.

Conţinutul de cenuşă din combustibil, A^i, are de asemenea o mare influenţă atît asupra debitului morii cît şi asupra vitezei de uzură a elementelor de măcinare, alături de constituţia chimică a cenuşii, exprimată în special prin conţinutul de SiO_2, aşa cum arată datele din figura 8.

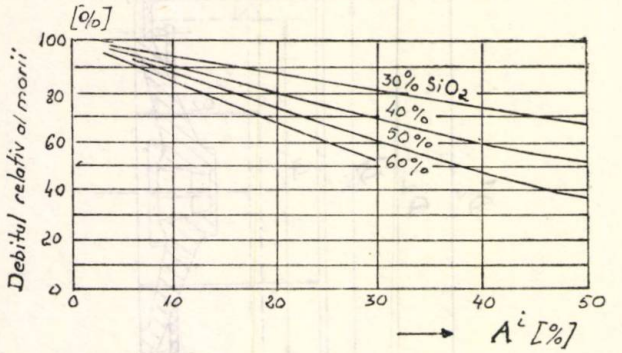


Fig. 8. Variaţia relativă a debitului morii-ventilator funcţie de conţinutul de cenuşă A^i şi de conţinutul de SiO_2 din cenuşă.

Umiditatea combustibilului are cea mai mare influenţă asupra comportării morilor-ventilator, ea conducînd la variaţia relativă a debitului morii, după cum se vede în figura 9.

Scăderea debitului morii la creşterea umidităţii se datoreşte imposibilităţii schemei de a usca combustibilul.

Creşterea umidităţii combustibilului la intrarea în moară, W_t^i, atrage după sine creşterea umidităţii prafului la ieşirea din separator, deoarece cantitatea de umiditate evaporată, ΔW, variază relativ puţin (fig. 10).

Creşterea umidităţii prafului conduce la creşterea timpului de ardere a particulelor de combustibil şi la apariţia pierderilor de căldură prin ardere incompletă.

Fineţea de măcinare a prafului caracterizată prin restul pe sita cu ochiuri de 90μ (R_{90}) influenţează negativ debitul morii, după cum rezultă din figura 11.

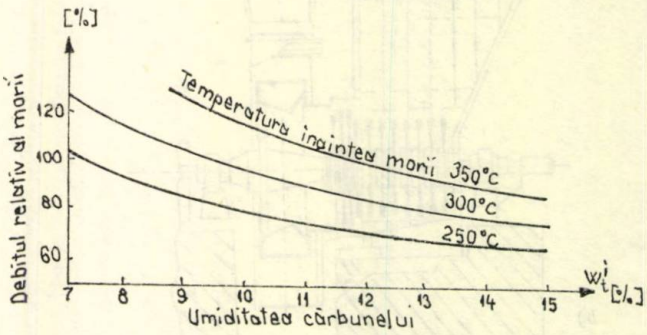


Fig. 9. Variaţia relativă a debitului morii-ventilator la variaţia umidităţii totale a combustibilului W_t^i pentru o moară la care uscarea se face numai cu aer cald.

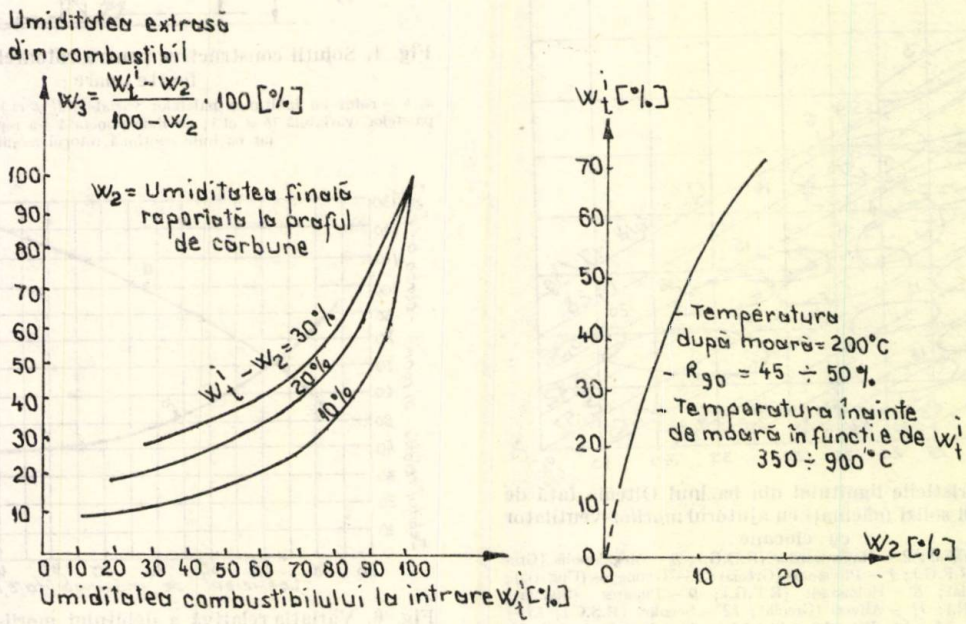


Fig. 10. Variaţia umidităţii fracţiilor de praf funcţie de umiditatea totală a combustibilului.

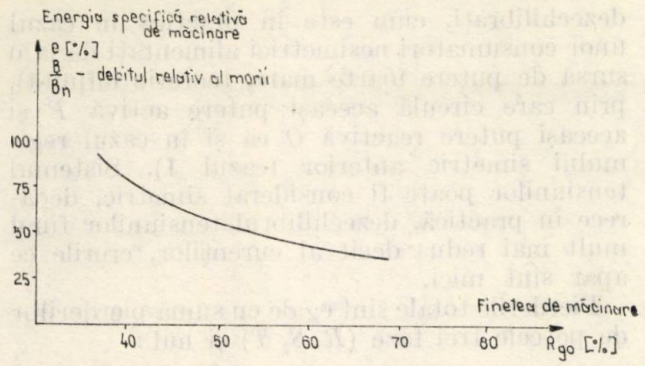


Fig. 11. Variația debitului relativ și a energiei specifice de măcinare a unei mori de tip ventilator funcție de finețea de măcinare caracterizată prin R_{90}.

Este de făcut remarca finală că prin înrăutățirea calității combustibilului (creșterea conținutului de cenușă și a umidității) se reduce debitul morilor, deși producerea aceluiași debit de abur cere creșterea debitului de cărbune măcinat. Pentru a compensa această reducere, se reduce finețea de măcinare, efectul fiind mărirea timpului de ardere a particulelor și deci mărirea pierderilor prin ardere incompletă. În vederea reducerii acestor pierderi este necesar ca instalațiile de ardere să fie prevăzute cu grătare de postardere sau cu arzătoare speciale, care să mărească timpul de staționare a particulelor de praf în volumul focarului. Reducerea fineții de măcinare se poate face prin simplificarea separatoarelor de praf sau, în ultimă instanță, chiar prin renunțarea la acestea.

Deoarece metodica de calcul sovietică a morilor-ventilator cu ciocane conduce la abateri simțitoare, apar ca necesare experimentări pentru stabilirea unor coeficienți de corecție. Acest lucru este cu atît mai important dacă se au în vedere cercetările întreprinse în momentul de față pentru construirea unei mori MVC de 120 t/h.

În timpul exploatării instalațiilor de măcinare este necesar ca variația calității și granulației combustibilului să fie în limite cît mai restrînse, ceea ce se poate realiza prin utilizarea de depozite de omogenizare a combustibilului interpuse între instalațiile de măcinare și producătorul de combustibil.

Cercetările în acest domeniu nu sînt încheiate atît din punct de vedere al metodicii de calcul, cît și al posibilităților tehnologice de realizare a rotoarelor cu grosimi de palete variabile.

Bibliografie

[1] Pănoiu, N. ș.a. *Studiu privind morile de cărbune și alegerea tipului de moară în funcție de caracteristicile combustibilului.* Studiu intern, I.P.B., 1981.

[2] Volkovinski, V. A. *Issledovanie vliianiia gheometriceskih i rejimîh harakteristik rabocevo kolesa na aerodinamiceskie i razmolnie pokazateli melniți ventileatorov.* În: Teploenerghetika nr. 1, 1978, p. 83–87.

[3] Pănoiu, N. ș.a. *Valorificarea prin ardere a combustibililor solizi inferiori.* Editura tehnică, București, 1978.

[4] Levit, G. T. *Pilesistemi s melnițami ventileatorami moșnîh zarubejnîh energoblokov.* În: Teploenerghetika, nr. 8, 1980.

[5] Gatman, E. și Popa, M. *Corelații între compoziția mineralogică și comportarea în procesele termoenergetice a materialelor cărbunoase exploatate din bazinul Oltenia-Nord.* În: Energetica, nr. 5, 1976.

(Articol intrat în redacție la 5 iunie 1981)

Influența sarcinilor nesimetrice asupra pierderilor de energie electrică, în instalațiile electrice trifazate cu patru conductoare

Dr. ing. **L. Preda**
Ing. **Adriana Caba**
Ing. **P. Tălmaciu***)

În problema economisirii energiei electrice, care, în condițiile crizei energetice mondiale, are importanță maximă, un loc deosebit revine reducerii pierderilor de energie în instalațiile electrice.

Mulți consumatori introduc în sistemele electrice trifazate impedanțe nesimetrice pe cele trei faze, ceea ce conduce la apariția unor curenți nesimetrici și, implicit, datorită căderilor de tensiune, și a unor tensiuni nesimetrice

*) Dr. ing. Laurian Preda este profesor la Institutul politehnic Iași, Facultatea de electrotehnică, Catedra de electroenergetică; Adriana Caba este inginer la I.R.E. Iași; Paul Tălmaciu este inginer la I.R.E. Tg. Mureș.

(nesimetria tensiunilor fiind însă mult mai mică ca a curenților și, ca urmare, obișnuit neglijabilă).

Funcție de gradul de nesimetrie al unui sistem, se apreciază posibilitatea încărcării sale cu putere activă și reactivă. Circulațiile de curenți de diferite secvențe produc pierderi suplimentare atît în elementele generatoare, în elementele de transfer, cît și la consumatori [4]. Nesimetriile se datoresc încărcării nesimetrice a fazelor liniilor trifazate, influență mare avînd consumatorii monofazați importanți. În instalațiile electrice trifazate, nesimetriile conduc la apariția curenților de secvență inversă, iar dacă neutrul este legat la pământ apar și curenți de secvență homopolară.

În instalațiile cu patru conductoare (3F+N), în afară de componenta directă, apar și componentele inversă și homopolară, care produc pierderi suplimentare de energie în impedanțele circuitului.

Regimurile nesimetrice în cadrul sistemelor energetice sînt deosebit de importante din punctul de vedere al reducerii pierderilor create

de nesimetrii, ca efect al circulației componentelor inverse și homopolare de curenți.

Descompunerea în componente simetrice a unui sistem trifazat de curenți nu este numai un artificiu de calcul, ci corespunde unei realități fizice bine definite [5]. Componenta directă de putere își are sursa chiar în generator, pe cînd componentele inversă și homopolară sînt produse la locul de dezechilibru, creează pierderi pentru care trebuie surplus de energie generată și se îndreaptă către elementele echilibrate. Componentele inversă și homopolară, circulînd pe linie, creează și în acestea pierderi suplimentare de energie. Deci, în cazul unor consumatori nesimetrici, este necesară o energie (putere) mai mare decît în cazul celor simetrici, pentru acoperirea pierderilor suplimentare proprii (datorate apariției componentelor inversă și homopolară și, în plus, acești consumatori nesimetrici conduc și la creșterea pierderilor în sistemul de transport și distribuție).

Creșterea pierderilor de putere (energie) activă, datorată sarcinilor nesimetrice în instalațiile trifazate cu patru conductoare

Pierderile de putere activă în instalațiile electrice trifazate în regim simetric și sinusoidal (cazul 1) sînt:

$$\Delta P_1 = 3\, r\, I_1^2 = 3\, r\, I_d^2 = \frac{S^2}{U_1^2}\, r = \frac{S_{sim\,1}^2}{3\, U_f^2} r =$$

$$= \frac{S_d^2}{3\, U_f^2}\, r = \frac{P^2 + Q_f^2}{3\, U_f^2}\, r \qquad (1)$$

unde

$$S = S_{sim\,1} = S_d = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3\, U_1 I_d = 3\, U_f\, I_d\,;$$

r este rezistența circuitului;

$I_R = I_S = I_T = I_1$ — curenții de pe cele trei faze;

$I_d = I_1$ — componenta directă a curenților (curenții fiind simetrici, nu există componentă inversă și nici homopolară);

U_1 — tensiunea de linie;

U_f — tensiunea de fază;

$S = S_{sim\,1}$ — puterea aparentă corespunzătoare regimului simetric (cel din cazul 1);

S_d — puterea aparentă corespunzătoare componentei directe a curentului;

P, Q — puterile activă, respectiv reactivă.

Considerăm (cazul 2) o instalație electrică trifazată cu patru conductoare în regim nesimetric simplu (cu tensiuni simetrice și curenți dezechilibrați, cum este în practică în cazul unor consumatori nesimetrici alimentați de la o sursă de putere foarte mare, teoretic infinită), prin care circulă aceeași putere activă P și aceeași putere reactivă Q ca și în cazul regimului simetric anterior (cazul 1). Sistemul tensiunilor poate fi considerat simetric, deoarece în practică, dezechilibrul tensiunilor fiind mult mai redus decît al curenților, erorile ce apar sînt mici.

Pierderile totale sînt egale cu suma pierderilor de pe cele trei faze (R, S, T) și nul:

$$\Delta P_2 = r\, I_R^2 + r\, I_S^2 + r\, I_h^2 + r_T\, I_h^2 =$$

$$= r(I_R^2 + I_S^2 + I_T^2 + n\, I_h^2), \qquad (2)$$

unde

r este rezistența conductorului de fază (fazele sînt identice);

r_h — rezistența conductorului de nul;

$n = r_h/r$

I_R, I_S, I_T, I_h — curenții de pe cele trei faze și de pe nul.

Presupunem că în locul curenților reali (I_R, I_S, I_T, I_h) instalația este parcursă de curenți trifazați simetrici echivalenți ($I_{Re} = I_{Se} = I_{Te} = I_e$), care dau aceleași pierderi ΔP_2 ca și curenții reali dezechilibrați:

$$\Delta P_2 = 3_r\, I_e^2 = \frac{S_{sim\,e}^2}{3\, U_f^2} \cdot r = \frac{S_{nes\,2}^2}{3\, U_f} \cdot r, \qquad (3)$$

în care

$S_{sim\,e}$ este puterea aparentă totală datorată circulației curenților simetrici echivalenți (I_e);

S_{nes} — puterea aparentă totală datorată circulației curenților reali dezechilibrați.

Din relațiile (2) și (3) rezultă:

$$\frac{S_{nes}^2}{3\, U_f^2} \cdot r = r \cdot (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2 + n\, I_h^2) \qquad (4)$$

$$S_{nes}^2 = 3\, U_f^2 (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2 + n\, I_h^2) =$$

$$= 3\, U_f^2 (\underline{I}_R\, \underline{I}_R^* + \underline{I}_S\, \underline{I}_S^* + \underline{I}_T\, \underline{I}_T^* + n\, \underline{I}_h\, \underline{I}_h^*)$$

Dar *):

$$\underline{I}_R \underline{I}_R^* + \underline{I}_S \underline{I}_S^* + \underline{I}_T\, \underline{I}_T^* = 3\, \underline{I}_d\, \underline{I}_d^* + 3\, \underline{I}_i\, \underline{I}_i^* +$$

$$+ 3\, \underline{I}_0 \underline{I}_0^* = 3\, I_d^2 + 3\, I_i^2 + 3\, I_0^2 \qquad (6)$$

unde

I_d este componenta directă a curentului;

I_i — componenta inversă a curentului;

I_0 — componenta homopolară a curentului.

*) conform anexei 1.

Deoarece curentul de pe nul $\underline{I}_h = 3\,\underline{I}_0$, rezultă:

$$\underline{I}_h\,\underline{I}_h^* = 9\,\underline{I}_0\,\underline{I}_0^* = 9\,I_0^2 \qquad (7)$$

Din relaţiile (5), (6) şi (7) rezultă:

$$S_{nes}^2 = 3\,U_f^2(3\,I_d^2 + 3\,I_i^2 + 3\,I_0^2 + 9\,n\,I_0^2) =$$

$$= 9\,U_f^2 I_d^2 + 9\,U_f^2\,I_i^2 + 9\,U_f^2\,I_0^2\,(3\,n + 1), \qquad (8)$$

în care

$3\,U_f\,I_d = S_d = S_{sim\,1} = \sqrt{P^2 + Q^2}$ este puterea aparentă datorată circulaţiei componentelor directe ale curenţilor dezechilibraţi (aceeaşi cu cea din cazul 1 — relaţia 1);

$3\,U_f I_i = S_i$ — puterea aparentă datorată circulaţiei componentelor inverse ale curenţilor dezechilibraţi (să o numim putere de disimetrie);

$3\,U_f I_0 = S_0$ — puterea aparentă datorată circulaţiei componentelor homopolare ale curenţilor dezechilibraţi (să o numim putere de asimetrie).

Ţinînd seama de cele de mai sus, relaţia (8) devine [1], [2], [3]:

$$S_{nes}^2 = S_d^2 + S_i^2 + (3n + 1)\,S_0^2 = P^2 + Q^2 + S_i^2 + (3n + 1)S_0^2 \qquad (9)$$

Relaţia (9) reprezintă expresia puterii aparente în cazul curenţilor nesimetrici şi tensiunilor simetrice, cînd am considerat regimul perfect sinusoidal. Deci, în regim nesimetric, puterea aparentă conţine şi puterea de nesimetrie (de disimetrie S_i şi asimetrie S_0).

Înlocuind relaţia (9) în (3), expresia pierderilor de putere devine:

$$\Delta P_2 = \frac{r}{3\,U_f^2}[P^2 + Q^2 + S_i^2 + (3\,n+1)S_0^2] \qquad (10)$$

Relaţia (10) poate fi pusă şi sub altă formă:

$$\Delta P_2 = 3\,r\,[I_d^2 + I_i^2 + (3\,n + 1)\,I_0^2] =$$

$$= 3\,r\,I_d^2 + 3\,r\,I_i^2 + 3\,r\,(3\,n + 1)\,I_0^2 =$$

$$= \Delta P_d + \Delta P_i + \Delta P_0 = \Delta P_1 + \Delta P_i + \Delta P_0 \qquad (11)$$

unde

$\Delta P_1 = \Delta P_d = 3\,r\,I_d^2 = 3\,r\,I_1^2$ sînt pierderile de putere datorate circulaţiei puterilor activă şi reactivă (P, Q), puteri ce sînt aceleaşi ca şi în cazul 1, respectiv pierderile datorate circulaţiei componentelor directe ale curenţilor dezechilibraţi (din cazul 2);

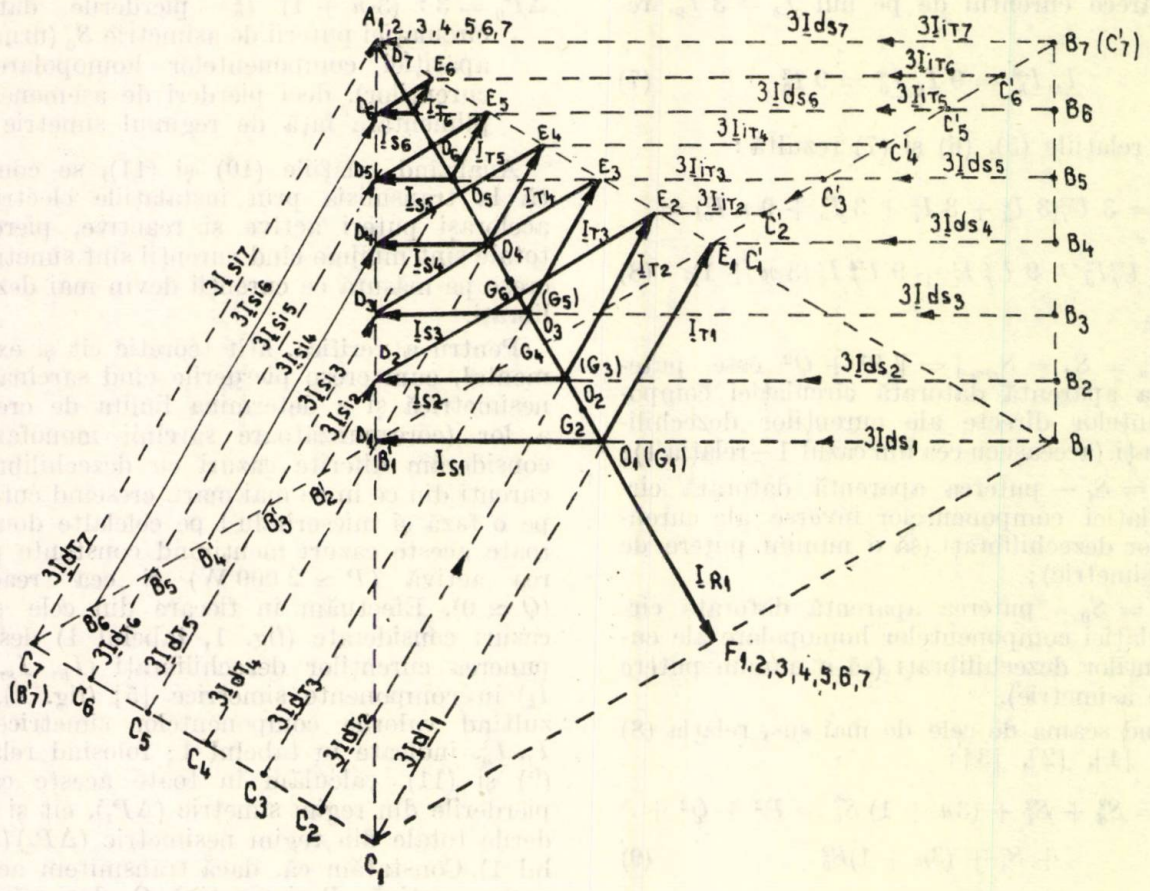
$\Delta P_i = 3\,r\,I_i^2$ — pierderile datorate circulaţiei puterii de disimetrie S_i (urmare a apariţiei componentelor inverse ale curenţilor), deci pierderi suplimentare faţă de regimul simetric 1;

$\Delta P_0 = 3\,r\,(3\,n + 1)\,I_0^2$ — pierderile datorate circulaţiei puterii de asimetrie S_0 (urmare a apariţiei componentelor homopolare ale curenţilor), deci pierderi de asemenea suplimentare faţă de regimul simetric 1.

Analizînd relaţiile (10) şi (11), se constată că la transmisia prin instalaţiile electrice a aceloraşi puteri active şi reactive, pierderile totale sînt minime cînd curenţii sînt simetrici şi cresc pe măsură ce curenţii devin mai dezechilibraţi.

Pentru a verifica, atît teoretic cît şi experimental, cum cresc pierderile cînd sarcina este nesimetrică şi a determina limita de creştere a lor (corespunzătoare sarcinii monofazate), considerăm diferite cazuri cu dezechilibre de curenţi din ce în ce mai mari, crescînd curentul pe o fază şi micşorîndu-l pe celelalte două, în toate aceste cazuri menţinînd constante puterea activă ($P \simeq 2\,000$ W) şi cea reactivă ($Q \simeq 0$). Efectuăm în fiecare din cele şapte cazuri considerate (fig. 1, tabelul 1) descompunerea curenţilor dezechilibraţi (I_R, I_S, I_T, I_h) în componente simetrice [5] (fig. 1), rezultînd valorile componentelor simetrice $\underline{I}_d$, $\underline{I}_i$, $\underline{I}_0$, indicate în tabelul 1; folosind relaţiile (2) şi (11), calculăm în toate aceste cazuri pierderile din regim simetric (ΔP_1), cît şi pierderile totale din regim nesimetric (ΔP_2) (tabelul 1). Constatăm că, dacă transmitem aceeaşi putere activă P şi reactivă Q, deci păstrăm în toate cazurile (1 — 7) aceleaşi pierderi datorate circulaţiei puterilor activă şi reactivă ($\Delta P_1 = 27\,r$), pe măsura creşterii dezechilibrului, pierderile totale (ΔP_2) cresc, ajungînd ca la dezechilibrul maxim posibil ce corespunde sarcinii monofazate să fie de $162\,r$ (crescînd de $162/27 = 6$ ori, deci cu 500%). În tabelul 1 s-a considerat rezistenţa nulului egală cu a fazei ($n = r_h/r = 1$). Dacă considerăm cazul real în care secţiunea nulului este mai mică decît a fazei (de exemplu: $s_{nul} = 50$ mm^2; $s_{fază} = 70$ mm^2; $n = r_h/r = 1{,}4$), transmiţînd aceeaşi putere activă P şi reactivă Q, la dezechilibrul maxim (corespunzător sarcinii monofazate) pierderile cresc de 7,2 ori în raport cu cazul în care sarcina este simetrică.

S-a executat verificarea experimentală a cazurilor din tabelul 1 în laborator, pe o instalaţie electrică trifazată cu patru conductoare (de aceeaşi secţiune), alimentată de la stabilizatoare de tensiune, folosind aparate de măsură cu clasa de precizie 0,2. S-au măsurat curenţii $\underline{I}_R$, $\underline{I}_S$, $\underline{I}_T$, $\underline{I}_h$, puterile P, Q şi, prin metode recunoscute (folosind şi măsurătorile watt-metrelor), s-au determinat $\underline{I}_d$, $\underline{I}_i$, $\underline{I}_0$. S-au calculat pierderile totale reale (ΔP_2) atît cu relaţia (2) cît şi cu (11), obţinîndu-se rezultatele experimentale din tabelul 2, care le confirmă pe cele teoretice din tabelul 1.



Directe

R	S	T
$A_1F_1 = 3\ I_{dR1}$	$B_1D_1 = 3\ I_{dS1}$	$C_1E_1 = 3\ I_{dT1}$
$A_2F_2 = 3\ I_{dR2}$	$B_2D_2 = 3\ I_{dS2}$	$C_2E_2 = 3\ I_{dT2}$
$A_3F_3 = 3\ I_{dR3}$	$B_3D_3 = 3\ I_{dS3}$	$C_3E_3 = 3\ I_{dT3}$
$A_4F_4 = 3\ I_{dR4}$	$B_4D_4 = 3\ I_{dS4}$	$C_4E_4 = 3\ I_{dT4}$
$A_5F_5 = 3\ I_{dR5}$	$B_5D_5 = 3\ I_{dS5}$	$C_5E_5 = 3\ I_{dT5}$
$A_6F_6 = 3\ I_{dR6}$	$B_6D_6 = 3\ I_{dS6}$	$C_6E_6 = 3\ I_{dT6}$
$A_7F_7 = 3\ I_{dR7}$	$B_7D_7 = 3\ I_{dS7}$	$C_7E_7 = 3\ I_{dT7}$

Inverse

R	S	T
	$B'_1D_1 = 0$	$C'_1E_1 = 0$
$A'_2F_1 = 3\ I_{iR2}$	$B'_2D_2 = 3\ I_{iS2}$	$C'_2E_2 = 3\ I_{iT2}$
$A'_3F_1 = 3\ I_{iR3}$	$B'_3D_3 = 3\ I_{iS3}$	$C'_3E_3 = 3\ I_{iT3}$
$A'_4F_1 = 3\ I_{iR4}$	$B'_4D_4 = 3\ I_{iS4}$	$C'_4E_4 = 3\ I_{iT4}$
$A'_5F_1 = 3\ I_{iR5}$	$B'_5D_5 = 3\ I_{iS5}$	$C'_5E_5 = 3\ I_{iT5}$
$A'_6F_1 = 3\ I_{iR6}$	$B'_6D_6 = 3\ I_{iS6}$	$C'_6E_6 = 3\ I_{iT6}$
$A'_7F_1 = 3\ I_{iR7}$	$B'_7D_7 = 3\ I_{iS7}$	$C'_7E_7 = 3\ I_{iT7}$

Homopolare

R	S	T
$O_2G_2 = I_{OR2}$	$= I_{OS2}$	$= I_{OT2}$
$O_3G_3 = I_{OR3}$	$= I_{OS3}$	$= I_{OT3}$
$O_4G_4 = I_{OR4}$	$= I_{OS4}$	$= I_{OT4}$
$O_5G_5 = I_{OR5}$	$= I_{OS5}$	$= I_{OT5}$
$O_6G_6 = I_{OR6}$	$= I_{OS6}$	$= I_{OT6}$
$O_7G_7 = I_{OR7}$	$= I_{OS7}$	$= I_{OT7}$

S-au mai efectuat trei verificări experimentale (tabelul 3), considerînd în fiecare caz atît un regim simetric, cît și unul nesimetric pentru aproximativ aceleași puteri, P și Q luate oarecare. Erorile se datoresc atît aparatelor de măsură, cît și imposibilității de realizare practică a unui regim perfect simetric cu exact aceleași puteri active și reactive. Pierderile totale (ΔP_2) în regim nesimetric sînt și în acest caz mult mai mari ca în regim simetric, la transmisia a aproximativ acelorași puteri activă P și reactivă Q, confirmînd cele arătate anterior.

Sarcinile dezechilibrate utilizate curent în practică conduc deci la creșteri ale pierderilor deosebit de mari (pierderi ce pot fi de 7,2 ori mai mari în cazul sarcinilor monofazate decît în cazul sarcinilor trifazate echilibrate) și care frecvent sînt mult mai mari decît cele datorate circulației energiei reactive. Măsurarea energiilor (puterilor) de nesimetrie în diferite locuri din instalații permite să se determine unde este cel mai indicat să se realizeze echilibrarea naturală sau artificială a sarcinilor și să se urmărească direct efectele ei. Echilibrarea naturală se realizează prin simpla schim-

Tabelul 1

Rezultate teoretice (P = ct. = 2000 W; Q = ct. $\simeq$ 0)

Nr. crt.	Regim	I_R [A]	I_S [A]	I_T [A]	I_h [A]	I_d [A]	I_i [A]	I_0 [A]	ΔP_1 [W]	ΔP_2 [W] ($n+1$)	Creşterea pierderilor faţă de regimul simetric ΔP%
1	Simetric trifazat	3	3	3	0	3	0	0	27r	27r	0
2	Nesimetric trifazat	4	2,5	2,5	1,5	3	0,5	0,5	27r	30,75r	11,388
3	Nesimetric trifazat	5	2	2	3	3	1	1	27r	42r	55,55
4	Nesimetric trifazat	6	1,5	1,5	4,5	3	1,5	1,5	27r	60,75r	125,00
5	Nesimetric trifazat	7	1	1	6	3	2	2	27r	87r	222,22
6	Nesimetric trifazat	8	0,5	0,5	7,5	3	2,5	2,5	27r	120,75r	347,22
7	Monofazat	9	0	0	9	3	3	3	27r	162r	500,00

Tabelul 2

Rezultate experimentale (P = ct. $\simeq$ 2000 W; Q = ct. $\simeq$ 0)

Nr. crt.	Regim	I_R [A]	I_S [A]	I_T [A]	I_h [A]	P [W]	Q [Var]	U [V]	I_d [A]	I_i [A]	I_0 [A]	ΔP_1 [W]	Pierderi totale $n=1$ ΔP_2 (rel. 2) [W]	Pierderi totale $n=1$ ΔP_2 (rel. 11) [W]	Creşterea pierderilor faţă de regimul simetric ΔP%
1	Simetric	3	3	3	0	2004	41,618	225	2,969	0	0	26,454r	27r	26,454r	0
2	Nesimetric	4	2,5	2,5	1,425	1999,5	44,21	225	2,989	0,52	0,5	26,8r	30,53r	30,613r	11,57
3	Nesimetric	5	2	2	2,9	2009	34,248	225	3,003	1,02	0,991	27,05r	41,41r	41,96r	53,37
4	Nesimetric	6	1,5	1,5	4,47	2005,5	32,345	225	2,998	1,51	1,497	26,964r	60,48r	60,62r	124,53
5	Nesimetric	7	1	1	5,93	1997,75	41,789	225	3,00	2,01	1,998	27r	86,164r	87,02r	219,125
6	Nesimetric	8	0,5	0,5	7,485	2003,5	33,534	225	2,981	2,505	2,495	26,659r	120,525r	120,184r	345,125
7	Monofazat	9	0	0	8,935	1995,75	0	225	2,996	2,996	2,996	26,928r	159,85r	161,568r	498,4

Tabelul 3

Rezultate experimentale (1. $P \simeq 1500$ W; $Q \simeq 750$ var; 2. $P \simeq 1600$ W; $Q \simeq 500$ var; 3. $P \simeq 1350$; $Q \simeq 600$ var)

Nr. crt.	Regim	I_R [A]	I_S [A]	I_T [A]	I_h [A]	P [W]	Q [var]	U [V]	I_d [A]	I_i [A]	I_0 [A]	ΔP_1 [W]	Pierderi totale $n=1$ ΔP_2 (rel. 2) [W]	Pierderi totale $n=1$ ΔP_2 (rel. 11) [W]	Creşterea pierderilor faţă de regimul simetric, ΔP%
1	Simetric	2,5	2,5	2,5	0	1495	739,56	225	2,475	0	0	18,31r	18,31r	18,31r	—
	Nesimetric	4,62	2,4	1,05	2,95	1511,25	777,465	225	2,5177	1,593	0,9569	19,01r	36,909r	37,617r	97,880
2	Simetric	2,6	2,6	2,6	0	1632	487,25	225	2,523	0	0	19,1r	19,1r	19,1r	—
	Nesimetric	4,58	3	0,75	4,5	1665	502,25	225	2,6	0,899	1,6	18,259r	53,578r	53,42	179,633
3	Simetric	2,23	2,23	2,23	0	1350	567,24	255	2,169	0		14,11r	14,11r	14,11r	—
	Nesimetric	2,82	4,2	0,65	4,86	1376,25	610,4	225	2,23	0,652	1,624	14,91r	49,63r	47,84r	238,843

bare a legăturilor consumatorilor dezechilibrați la rețea; ea nu necesită investiții, este ieftină, simplă și conduce la reduceri importante ale pierderilor prin micșorarea energiilor (puterilor) de nesimetrie. Echilibrarea artificială ce se realizează cu ajutorul unor instalații suplimentare speciale ce necesită investiții [4] este recomandată după realizarea echilibrării naturale. În condițiile crizei energetice actuale, cînd se iau măsuri energice de îmbunătățire a factorului de putere, deci de reducere a consumului de energie reactivă, considerăm că trebuie îndreptată atenția și asupra problemei reducerii energiei de nesimetrie (care conduce frecvent la pierderi mai mari decît cea reactivă), prin simpla echilibrare naturală (de exemplu bianuală) a sarcinilor. Simetrizarea sarcinilor în instalațiile cu patru conductoare conduce la reducerea componentei inverse și a celei homopolare, reducînd pierderile atît la consumatori, la generatoare, cît și în rețele.

Pentru reducerea pierderilor datorate sarcinilor nesimetrice este utilă introducerea tarifării energiei de nesimetrie [9]; menționăm că măsurarea energiilor de nesimetrie poate fi efectuată cu ajutorul unor contoare trifazate de energie activă la care se modifică doar modul de conectare la rețea [6], [7], [8].

Asemănător noțiunii de echivalent energetic al puterii reactive, propunem introducerea noțiunii de echivalent energetic al puterii de nesimetrie, cu referință la puterea de disimetrie și cea de asimetrie, măsurat în kW/kWi, respectiv kW/kW$_0$, unde kWi, kW$_0$ să fie puterea corespunzătoare curentului invers (S_i), respectiv componentei homopolare (S_0), pentru a reflecta legătura dintre puterea de nesimetrie și cea activă necesar a fi consumată în plus pentru acoperirea pierderilor datorate nesimetriilor, deci puterii de nesimetrie.

Măsurători efectuate în exploatare pe partea de joasă tensiune a unor posturi de transformare au arătat creșteri de peste 100% a pierderilor în raport cu transmiterea acelorași puteri active și reactive, dar la sarcini echilibrate.

Concluzii

1. În instalații electrice trifazate cu patru conductoare, sarcinile dezechilibrate datorită circulației puterii de nesimetrie (de disimetrie S_i și de asimetrie S_0) conduc la creșteri importante ale pierderilor (relația 11), ce pot fi de 7,2 ori mai mari decît în cazul acelorași sarcini totale, dar echilibrate.

2. Ținînd seama de criza energetică actuală, este utilă introducerea tarifării, respectiv măsurării energiei de nesimetrie și, pe această bază, realizarea periodică (bianuală) a simetrizării naturale a sarcinilor, prin simpla schimbare a racordurilor sarcinilor dezechilibrate la alte faze, ceea ce conduce, cu cheltuieli mici, la reduceri importante ale pierderilor. Măsurarea energiei de nesimetrie poate fi realizată simplu, cu contoare trifazate obișnuite de energie activă, schimbînd doar legăturile la rețea. Tarifarea energiei de nesimetrie ar cointeresa consumatorii în realizarea simetrizării sarcinilor, deci în reducerea pierderilor datorate sarcinilor nesimetrice.

3. Propunem introducerea noțiunii de echivalent energetic al puterii de nesimetrie pentru a reflecta legătura dintre puterea de nesimetrie și cea activă necesar a fi consumată în plus pentru acoperirea pierderilor datorate sarcinilor nesimetrice.

ANEXA 1

Sistemul curenților dezechilibrați:

$$\underline{I}_R = \underline{I}_0 + \underline{I}_d + \underline{I}_i$$

$$\underline{I}_S = \underline{I}_0 + a^2\underline{I}_d + a_2\underline{I}_i$$

$$\underline{I}_T = \underline{I}_0 + a\,\underline{I}_d + a^2\,\underline{I}_i$$

Sistemul curenților conjugați dezechilibrați:

$$\underline{I}_R^* = \underline{I}_0^* + \underline{I}_d^* + \underline{I}_i^*$$

$$\underline{I}_S^* = \underline{I}_0^* + a\,\underline{I}_d^* + a^2\,\underline{I}_i^*$$

$$\underline{I}_T^* = \underline{I}_0^* + a^2\,\underline{I}_d^* + a\,\underline{I}_i^*$$

Se știe că:

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} \quad 1 + a + a^2 = 0, \qquad a^* = a^2,$$

$$a^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} \quad a^3 = 1; \qquad a^4 = a, \qquad a^{2*} = a$$

$$\underline{I}_R\underline{I}_R^* = \underline{I}_0\,\underline{I}_0^* + \underline{I}_0\,\underline{I}_d^* + \underline{I}_0\,\underline{I}_i^* + \underline{I}_d\,\underline{I}_0^* + \underline{I}_d\,\underline{I}_-^* +$$
$$+ \underline{I}_d\,\underline{I}_i^* + \underline{I}_i\,\underline{I}_0^* + \underline{I}_i\,\underline{I}_d^* + \underline{I}_i\,\underline{I}_i^*$$

$$\underline{I}_s\underline{I}_s^* = \underline{I}_0\,\underline{I}_0^* + a\,\underline{I}_0\,\underline{I}_d^* + a^2\,\underline{I}_0\,\underline{I}_i^* + a^2\,\underline{I}_d\,\underline{I}_0^* +$$
$$+ \underline{I}_d\,\underline{I}_d^* + a\,\underline{I}_d\,\underline{I}_i^* + a\,\underline{I}_i\,\underline{I}_0^* + a^2\,\underline{I}_i\,\underline{I}_d^* + I_i\,I_i^*$$

$$\underline{I}_T\,\underline{I}_T^* + \underline{I}_0\underline{I}_0^* + a^2\,\underline{I}_0\,\underline{I}_d^* + a\,\underline{I}_0\,\underline{I}_i^* + a\,\underline{I}_d\,\underline{I}_0^*$$
$$+ \underline{I}_d\,\underline{I}_d^* + a^2\,\underline{I}_d\,\underline{I}_i^* + a^2\,\underline{I}_i\,\underline{I}_0^* + a\,\underline{I}_i\,\underline{I}_d^* + \underline{I}_i\,\underline{I}_i^*$$

$$\underline{I}_R\,\underline{I}_R^* +$$

$$\underline{I}_S\,\underline{I}_S^* +$$

$$\underline{I}_T\,\underline{I}_T^* = 3\,\underline{I}_0\,\underline{I}_0^* + / + / + / + 3\,\underline{I}_d\underline{I}_d^* + / + / + 3\,\underline{I}_i\,\underline{I}_i^*$$
$$= 3\,I_0^2 + 3\,I_d^2 + 3I_i^2$$

Bibliografie

[1] Lurie, L. S. *Despre puterea reactivă și cea aparentă a sistemelor trifazate încărcate nesimetric.* În: Energheticeski Biuleten, nr. 2, 1952, p. 18–25.

[2] Drechsler, R. *Über pulsierende und verborgene Leistung in einer unsymmetrisch belasteten Dreiphasenanlage.* În: ETZ, 90, nr. 17, 1969.

[3] Drechsler, R. *Analyse Kupferverluste bei unsymmetrischer dreiphasiger Abnahme elektrischer Energie.* În: Energietechnik, 22, nr. 3, 1972, p. 124–128.

[4] Arie, A. și Carabulea, A. *Metode pentru remedierea nesimetriei în rețelele electrice.* I.D.T., București, 1963.

[5] Antoniu, I. S. *Bazele electrotehnicii.* Editura didactică și pedagogică, București, 1974.

[6] Preda, L. *Asupra măsurării puterii și energiei de nesimetrie.* Buletin I. P. Iași, 1967.

[7] Preda, L. și Voinea, E. *Posibilități de măsurare a puterii de nesimetrie în centralele și stațiile electrice, cu ajutorul unor echipaje ce folosesc neutrul artificial.* Buletin I.P. Iași, 1973.

[8] Preda, L., Voinea, E. și Bîrlădeanu, E. *Asupra posibilităților de măsurare directă a puterilor (energiilor) de nesimetrie în rețelele trifazate cu patru conductoare (posturile de transformare).* Sesiunea tehnico-științifică „Optimizări în dezvoltarea și exploatarea instalațiilor electroenergetice", Iași, octombrie 1978.

[9] Preda, L. *Asupra posibilităților de reducere a consumurilor de energie electrică prin simetrizarea sarcinilor.* A II-a Conferință a energeticienilor din România. București, 1980.

(Articol intrat în redacție la 28 iulie 1981)

Creșterea siguranței în funcționare a sistemului energetic și a elementelor acestuia

Înregistratoare de evenimente cu microcalculator la CTE Rovinari

Ing. **R. Savulian**, Ing. **C. Beschea**, Ing. **Mariana Tăpuș**, Tehn. **V. Iacob**, Ing. **Gh. Marin** *)

Înregistratorul cronologic de evenimente cu microprocesor, conceput de ISPE pentru supravegherea părții electrice a centralei Rovinari, este realizat pe baza unor componente de serie, omologate de Întreprinderea de calculatoare electronice din București, și are performanțe comparabile cu cele ale înregistratoarelor de manevre produse de Brown Boveri [2], Siemens (Simatic MD 3) și ICEMENERG — ICE [1].

Din motive de cost și performanțe, capacitatea aparatului a fost limitată la 128 contacte supravegheate.

Aparatul este bazat pe microcalculatorul tip FELIX MC—8, dar poate fi realizat cu orice alt tip de microcalculator produs în țară.

Un exemplar a fost instalat și pus în funcțiune la CTE Rovinari în decembrie 1980, la blocurile 3—4, iar următoarele două sînt instalate și se vor pune în funcțiune în 1981 la blocurile 1—2, respectiv 5—6.

1. Problema înregistrării evenimentelor

Se înțelege prin „eveniment", în sensul prezentei lucrări, schimbarea stării unei mărimi binare.

Prin convenție, tranziția din starea logică „0" în starea logică „1" va fi un eveniment de tip „1", iar tranziția din starea logică „1" în starea logică „0" — un eveniment de tip „0".

Pentru fiecare eveniment este necesar să se înregistreze cu precizie următoarele informații:

— timpul comutării;

— identificatorul mărimii binare;

— tipul evenimentului (starea finală a mărimii binare).

Întrucît evenimentele care se înregistrează într-o centrală electrică se succed uneori la intervale de timp extrem de mici (sutimi de secundă), iar dispozitivul de înregistrare în clar (de obicei o mașină de scris) are viteză incomparabil mai mică, rezultă necesitatea memorării evenimentelor într-o memorie-tampon, numită „fișier de evenimente", în care fiecare eveniment reprezintă un „articol".

Organizarea fișierului de evenimente se poate face în mai multe feluri. În [1] se menționează că pentru fișierul de evenimente s-a ales structura de „stivă".

În ce ne privește, considerăm că o structură de listă ciclică de tipul „first — in, first — out" este cu mult mai indicată, avînd ca principal avantaj simplitatea programului de calculator și utilizarea eficientă a memoriei.

Să presupunem că fișierul de evenimente (cu structura de listă ciclică) este dimensionat pentru n articole (evenimente). Primul eveniment se înregistrează la adresa 000; următorul la 001 și așa mai departe. Evenimentul al $(n-1)$-lea se înregistrează la adresa $(n-1)$, iar al n-lea la adresa 000. Astfel, la introducerea articolelor în listă, fiecăruia i se atașează un număr de ordine generat de calculator prin numărare „modulo n".

Se constată că atunci cînd mărimile binare supravegheate sînt contacte, datorită vibrațiilor acestora, numărul evenimentelor înregistrate este foarte mare, ceea ce reduce inte-

*) Ing. Radu Savulian, ing. Cezar Beschea, ing. Mariana Tăpuș și tehn. Vasile Iacob lucrează la ISPE; ing. Gheorghe Marin lucrează la ICE.

ligibilitatea protocolului imprimat pe maşina de scris.

Pentru a elimina acest neajuns, programul de calculator realizat de ISPE utilizează următorul algoritm: toate evenimentele sînt înregistrate în fişier, iar algoritmul de golire a fişierului sesizează vibraţiile şi nu le mai trimite la maşina de scris.

Prin „vibraţie" se înţelege o succesiune de trei evenimente de tip 0—1—0 sau 1—0—1, asociată unui acelaşi contact într-un interval de timp Δt dat.

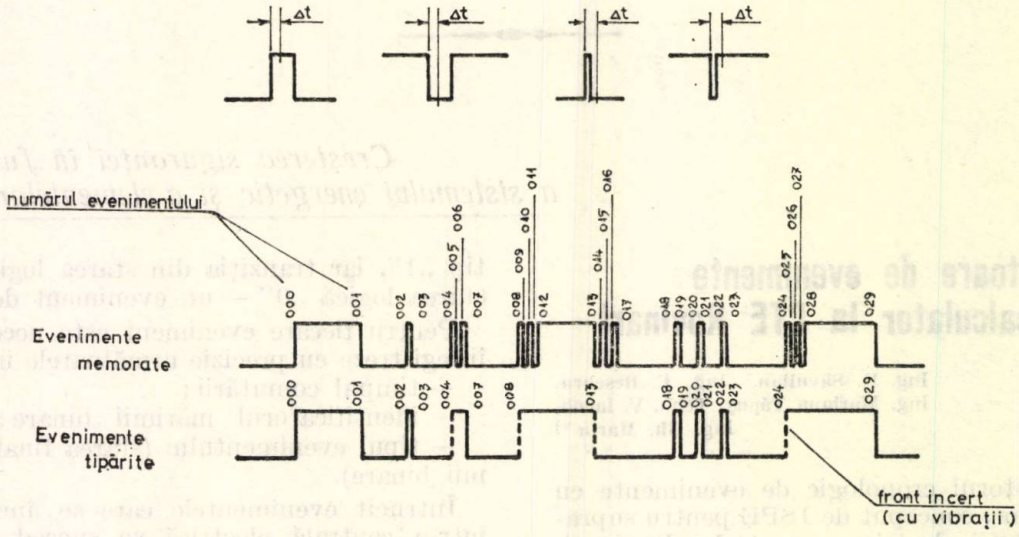


Fig. 1. Ilustrarea principiului de tratare a vibraţiilor.

Dacă succesiunea 0—1—0 reprezintă o „vibraţie", atunci la maşina de scris se trimite numai primul eveniment (0); analog, succesiunea 1—0—1 se reduce la evenimentul iniţial (1). Totdeauna algoritmul de ignorare va suprima o pereche de evenimente consecutive 0—1 sau 1—0 aflate faţă de evenimentul precedent într-un interval mai mic decît Δt. Valoarea lui Δt se stabileşte în funcţie de tipul aplicaţiei.

În figura 1 este ilustrat algoritmul de tratare a vibraţiilor. Lista de evenimente tipărite va conţine, în loc de 30 de evenimente, numai 16, şi anume acelea cu numerele de ordine: 000, 001, 002, 003, 004, 007, 008, 013, 018, 019, 020, 021, 022, 023, 024, 029.

Pentru partea electrică a CTE Rovinari s-au ales următoarele valori caracteristice:

— numărul de evenimente care pot fi memorate în fişierul de evenimente: $n = 1000$.

— Δt pentru vibraţii = 10 ms.

Pentru fiecare eveniment se înregistrează:

— numărul evenimentului (000 ... 999);

— minutul, secunda, sutimea de secundă;

— numărul contactului de la intrare (001—128);

— tipul evenimentului (0 — contact deschis, 1 — contact închis);

— denumirea în clar a contactului (maximum 16 caractere).

Protocolul de evenimente este „gradat" din oră în oră cu un mesaj de control care conţine „ora" şi „data", precum şi valoarea unui contact de control.

2. Echipamentul utilizat

Înregistratorul cronologic de evenimente este alcătuit din următoarele componente:

— microcalculator universal FELIX MC—8;

— interfaţă pentru intrări numerice IIN—128;

— maşină de scris serială Centronics.

Din punct de vedere constructiv, aparatul este alcătuit dintr-un dulap standard de 19" (700 × 850 × 1780) şi o maşină de scris. Dulapul conţine microcalculatorul universal (1 sertar), interfaţa pentru intrări numerice (1 sertar) şi şirurile de cleme pentru conectarea la proces.

Lungimea cablului de la dulap la maşina de scris este de maximum 100 m (fig. 2).

Microcalculatorul FELIX MC—8 conţine unitatea centrală cu microprocesor 8008, o plachetă de memorie RAM (4K), o plachetă de memorie REPROM (4K), ceasul de timp real, interfaţa serială pentru maşina de scris şi

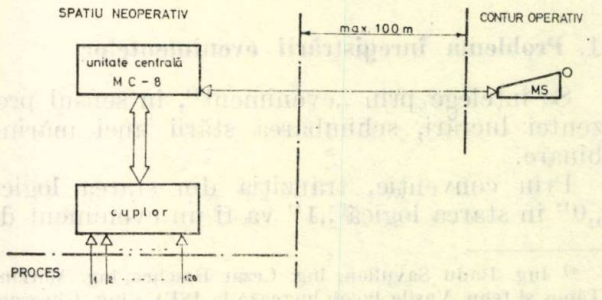


Fig. 2. Configuraţia înregistrator cronologic de evenimente.

extensia de magistrală pentru conectarea interfeței industriale.

Interfața industrială pentru intrări numerice poate supraveghea 128 contacte nepolarizate. La schimbarea stării oricărui contact, interfața comunică microcalculatorului noua stare a contactului respectiv și adresa acestuia. De asemenea, starea contactelor poate fi cunoscută și la inițiativa calculatorului prin explorare ciclică.

Interfața este compusă din următoarele subansambluri (fig. 3):

— Blocul circuitelor de intrare (BCI), care protejează interfața împotriva tensiunilor acci-

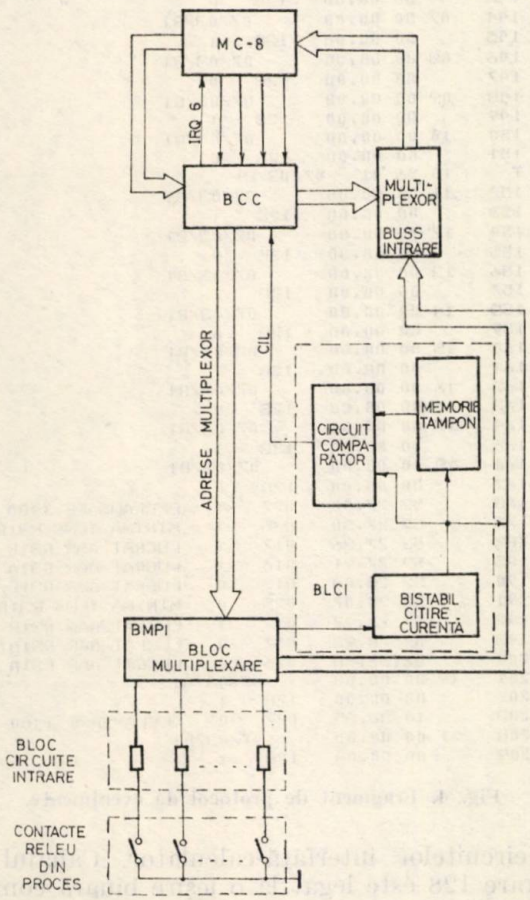


Fig. 3. Schema-bloc a interfeței pentru intrări numerice.

dentale (220 V) ce pot apărea pe contactele supravegheate.

— Blocul multiplexor pentru canalele de intrare (BMPI), care asigură selectarea unui canal de intrare a cărui adresă a fost formulată de blocul circuitelor de comandă (BCC).

— Blocul pentru lansarea cererilor de întrerupere (BLCI). Acest bloc lansează un semnal de întrerupere către microcalculator la orice schimbare de stare a contactelor. Detectarea schimbării se face prin compararea stării momentane (aflată în bistabilul de citire curentă) cu valoarea anterioară (din memoria-tampon).

— Blocul circuitelor de comandă (BCC), care asigură manevrarea întreruperilor venite de la canalele de intrare, încărcarea memorieitampon cu valorile inițiale, cît și furnizarea către BMPI a adresei de citire a unor linii la inițiativa microcalculatorului.

— Blocul multiplexor pentru magistrala de intrare în microcalculator, care are rolul de a plasa pe magistrală date provenind de la BCC (adresa canalului de intrare care și-a schimbat starea și valoarea nouă) și de la multiplexorul canalelor de intrare (8 biți).

Tehnologia utilizată este TTL/LSI și MOS/LSI.

Legarea cablurilor de la contactele supravegheate se face la șirurile de cleme din spatele dulapului.

Alimentarea cu energie elctrică este la 220 V ± 10%, 50 Hz ± 1%.

Consumul dulapului (microcalculator și interfață) este de 500 VA, iar al mașinii de scris 300 VA.

Se recomandă alimentarea dulapului din invertor, pentru evitarea pauzelor de AAR, întrucît memoria RAM pierde informațiile la căderea tensiunii.

Condițiile de mediu cerute de echipament sînt:

— temperatura ambiantă 10—35°C;
— umiditatea relativă 40—70%.

3. Funcții și performanțe

Fiind vorba de un aparat cu program memorat, comportarea înregistratorului de evenimente este dată de concepția programului introdus în calculator.

Programul lucrează pe două niveluri de prioritate. Pe nivelul superior se efectuează sesizarea evenimentelor (comutări de contacte) și memorarea lor în fișierul de evenimente, în timp ce pe nivelul inferior se execută golirea listei de evenimente prin tipărirea lor la mașina de scris. De asemenea, programul de pe nivelul inferior permite operatorului să aibă în orice moment acces la o serie de informații cu privire la starea instalației supravegheate prin intermediul mașinii de scris.

La elaborarea programului s-au avut în vedere următoarele cerințe:

— utilizarea eficientă a resurselor (viteză mare de prelucrare în punctele critice);
— modularitate judicioasă (module semnificative, nu prea mici);
— simplitate;
— siguranță (se au în vedere și situații anormale de funcționare a echipamentului);
— economie de memorie.

Programul, împreună cu datele fixe (denumirile contactelor și structura grupelor tehnologice), a fost implantat pe o singură plachetă REPROM (4K).

Datele variabile constînd din fişierul de evenimente şi diferite zone de lucru ocupă o plachetă de memorie RAM. Astfel, din totalul de patru plachete de memorie pe care le poate suporta microcalculatorul MC—8, pentru aplicaţia curentă s-au folosit numai două. Celelalte două au fost efectiv scoase din sertar, pentru a diminua încărcarea sursei de alimentare şi a reduce căldura disipată în sertar. Din aceleaşi motive s-au scos din sertar interfeţele pentru casetele magnetice şi pentru cititorul de bandă de hîrtie, periferice care nu sînt folosite în prezenta aplicaţie.

La elaborarea programului s-a ţinut seama de necesitatea ca toate comenzile operatorului să se poată efectua numai de la maşina de scris fără a folosi panoul frontal. De asemenea, oprirea, defectarea sau deconectarea perifericului nu au nici un efect asupra programului de înregistrare a evenimentelor în memorie. După repunerea perifericului în funcţiune, reluarea listării evenimentelor se poate face din orice punct.

Principalele caracteristici ale aparatului sînt:

— Tipul intrărilor supravegheate: contacte libere.

— Numărul intrărilor supravegheate: 128.

— Capacitatea memoriei de evenimente: 1 000 evenimente.

— Ceas inclus în microcalculator. Prin program se gestionează timpul cu precizie de 10 ms, incrementîndu-se automat data (ziua, luna, anul), ora, minutul, secunda şi sutimea de secundă. Iniţializarea ceasului se face de la maşina de scris.

— Capacitatea de discriminare a succesiunii în timp: 3 ms (două evenimente care survin la un interval mai mare de 3 ms sînt înregistrate în ordinea corectă).

— Protocolare automată a listei comutărilor contactelor supravegheate, cu denumirile contactelor în clar (maximum 16 caractere, memorate în memorii fixe).

— Tratare selectivă prin program a vibraţiei contactelor. Evenimentele parazite produse de vibraţii nu sînt listate în protocol, dar, după numerele de ordine asociate evenimentelor care intră efectiv în protocol, se poate deduce numărul de vibraţii (fig. 4).

—Funcţii la cerere: listarea denumirilor tuturor contactelor, tipărirea datei şi orei exacte, tipărirea valorilor momentane ale tuturor intrărilor, în ansamblu sau pe grupe tehnologice, reluarea listării evenimentelor dintr-un punct dat. Maximum 16 grupe tehnologice; maximum 15 contacte/grupă; identificatorul grupei este un caracter alfanumeric.

Apelarea uneia dintre funcţiile de mai sus se face prin apăsarea unei taste, indiferent de regimul de funcţionare a maşinii în momentul respectiv.

— Programul conţine secvenţe de autocontrol şi de evitare a blocării în situaţii excepţionale.

— Unul dintre contacte (în cazul de faţă contactul 128) este folosit pentru controlul global

```
104      10 55.05   027   1   DECLANSARE I400
109      10 55.30   025   1   MINIMA TENS R31B
116      10 55.82   017   1   LUCRAT AAR R31B
121      10 55.89   016   1   LUCRAT AAR R31A
126      10 56.01   017   0   LUCRAT AAR R31B
127      10 56.03   025   0   MINIMA TENS R31B
128      10 56.23   025   1   MINIMA TENS R31B
135      10 56.39   025   0   MINIMA TENS R31B
136      11 00.69   016   0   LUCRAT AAR R31A
137      33 38.84   027   0   DECLANSARE I400
140   05 00 00.00      07/03/81
141      00 00.00   128   1
142   06 00 00.00      07/03/81
143      00 00.00   128   0
144   07 00 00.00      07/03/81
145      00 00.00   128   1
146   08 00 00.00      07/03/81
147      00 00.00   128   0
148   09 00 00.00      07/03/81
149      00 00.00   128   1
150   10 00 00.00      07/03/81
151      00 00.00   128   0
T     10 56 41   07/03/81
152   11 00 00.00      07/03/81
153      00 00.00   128   1
154   12 00 00.00      07/03/81
155      00 00.00   128   0
156   13 00 00.00      07/03/81
157      00 00.00   128   1
158   14 00 00.00      07/03/81
159      00 00.00   128   0
160   15 00 00.00      07/03/81
161      00 00.00   128   1
162   16 00 00.00      07/03/81
163      00 00.00   128   0
164   17 00 00.00      07/03/81
165      00 00.00   128   1
166   18 00 00.00      07/03/81
167      00 00.00   128   0
168      52 27.07   027   1   DECLANSARE I400
175      52 27.30   025   1   MINIMA TENS R31B
182      52 27.86   017   1   LUCRAT AAR R31B
185      52 27.91   016   1   LUCRAT AAR R31A
190      52 28.04   017   0   LUCRAT AAR R31B
191      52 28.07   025   0   MINIMA TENS R31B
192      52 28.97   017   1   LUCRAT AAR R31B
193      52 28.98   017   0   LUCRAT AAR R31B
200      52 32.68   016   0   LUCRAT AAR R31A
201   19 00 00.00      07/03/81
202      00 00.00   128   1
203      10 36.35   027   0   DECLANSARE I400
208   21 00 00.00      07/03/81
209      00 00.00   128   1
```

Fig. 4. Fragment de protocol de evenimente.

al circuitelor interfaţă-calculator. Canalul de intrare 128 este legat la o ieşire binară comandată de program.

La fiecare schimbare a orei, programul comută valoarea binară la intrarea 128, şi acest lucru apare în protocol ca o verificare a bunei funcţionări a aparatului (fig. 4).

4. Experienţa de exploatare

Aparatul este robust şi uşor de manipulat. Pentru utilizarea lui nu sînt necesare cunoştinţe de informatică.

Punerea în funcţiune se poate face chiar de personalul de exploatare, fără a se apela la IIRUC.

Acest tip de aparat, care a fost montat la CTE Rovinari la blocurile 3—4, de cînd a fost

pus în funcțiune și pînă în prezent a funcționat continuu și a scos în evidență comportarea echipamentelor de calcul în condițiile specifice din centrale.

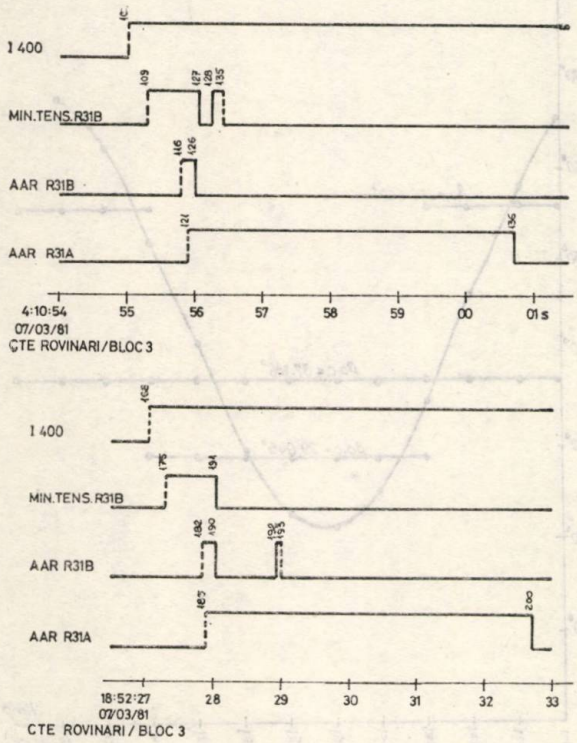


Fig. 5. Interpretarea evenimentelor înregistrate.

În această perioadă, la microcalculatorul FELIX MC—8 nu a apărut nici o defecțiune.

Mașina de scris Centronics a suferit o uzură în timp, la o piesă de antrenare a hîrtiei și, datorită prafului din camera de comandă tehnologică, contactele la unele taste ale claviaturii nu se închid perfect. Se consideră că printr-o întreținere lunară, care constă în, curățirea contactelor, depistarea și înlocuirea la timp a pieselor uzate, aceste defecțiuni vor dispărea.

De menționat că în timpul operației de întreținere a mașinii de scris nu se pierd evenimente.

Într-un caz extrem de defectare a mașinii de scris pe o perioadă de mai multe zile și de apariție în această perioadă a unui incident important, istoria evenimentelor se poate obține prin conectarea unei mașini de scris de rezervă (sau de la alt bloc).

Materialele obținute în exploatare (protocoalele) au reprezentat documente de lucru în analiza cauzelor incidentelor survenite în ultimele cinci luni.

Protocoalele din figura 4 sînt extrase din înregistrările obținute la CTE Rovinari blocul 3, pe data de 7/03/81, cu prilejul unor declanșări ale blocului.

În figura 5 s-au reprezentat grafic evenimentele prezentate în protocoalele din figura 4.

Bibliografie

[1] Berbece, C., Brozici, M. ș.a. *Supravegherea funcționării protecțiilor tehnologice cu ajutorul unui microcalculator la un grup de 330 MW.* În: Energetica 28, nr. 10—11, 1980.

[2] Alek Jerbek. *Les enrégistreurs chronologiques Indactic 41 et Indactic 42.* În: Revue Brown Boveri, 61, aug. 1974.

[3] * * * *Studiu privind condiții tehnice pentru înregistratoarele de evenimente pentru stații și centrale electrice.* Lucrare ISPE, decembrie 1975.

(Articol intrat în redacție la 19 mai 1981)

Surse și tehnologii noi în energetică

Studiul aportului de energie solară pe suprafețe plane de captare cu orientări și unghiuri de înclinare diferite

Dr. ing. **Candida Oancea,**
Dr. fiz. **Elena Zamfir,**
Ing. **Cristina Gheorghiță** *)

Aportul de energie solară pentru folosirea în diferite scopuri ca sursă de energie de înlocuire sau ajutătoare în linii tehnologice pentru diferite ramuri ale industriei, în încălzirea locuințelor sau a apei menajere etc. — este una din primele date ce trebuie luate în considerare la proiectarea instalațiilor solare, fie că este vorba de o instalație care urmează a fi construită odată cu clădirea aferentă unui anumit scop, fie numai de adaptarea acesteia la o clădire deja existentă.

Într-un anumit loc geografic, cu o climă bine determinată, suprafața de captare poate beneficia de o cantitate mai mare sau mai mică de energie solară, după cum va fi orientată față de punctele cardinale și după cum este înclinată față de orizontală, depinzînd de perioada mai lungă sau mai scurtă din an în care trebuie să funcționeze instalația solară.

În cele ce urmează se prezintă o evaluare a aportului de energie solară și un studiu com-

*) Dr. ing. Candida Oancea este conferențiar la Catedra de fizică, Institutul Politehnic București; dr. fiz. Elena Zamfir este lector la Catedra de optică-spectroscopie-plasmă, Universitatea din București; ing. Cristina Gheorghiță lucrează la I.P.A.T.C.T. — București.

parativ al acestui aport pe o suprafață de captare, la diferite orientări și unghiuri de înclinare a acesteia.

Alegerea unghiului de înclinare

Pornind de la faptul că instalația solară urmează fi amplasată într-un anumit loc geografic și că va trebui să funcționeze o anumită perioadă din an, pentru o suprafață de captare orientată către sud unghiul de înclinare optim al suprafeței față de orizontală a fost stabilit de Kern și Harris [1] conform relației:

$$\beta_0 = \text{arc tg} \frac{\Sigma S_{H,i} \operatorname{tg}(\Phi - \delta_i)}{\Sigma S_{H,i}}, \quad (1)$$

unde

Φ este latitudinea locului — pozitivă în emisfera nordică;

δ — valoarea medie lunară a declinației soarelui (adică poziția unghiulară a soarelui la amiază față de planul ecuatorial și ale cărei valori se modifică zilnic);

S_H — valoarea zilnică medie lunară a iradianței directe pe suprafața orizontală.

Pentru un interval de o singură lună, unghiul optim ($\beta_{0,l}$) se poate calcula cu formula simplificată a relației (1), adică:

$$\beta_{0,l} = \Phi - \delta \quad (2)$$

În figura 1 este reprezentată valoarea unghiului optim pentru fiecare lună a anului, obținută prin folosirea relației (2), pentru regiunea București, unde latitudinea este $\Phi = 44°24'50''$, iar valorile lunare ale declinației sînt calculate prin mediere pe patru ani consecutivi pentru ziua a 15-a a fiecărei luni [2]. În aceeași figură sînt reprezentate și valorile unghiului optim $\beta_{0,c} = 29{,}045°$ pentru sezonul cald — corespunzător lunilor aprilie, mai, iunie, iulie, august, septembrie —, unghiul optim $\beta_{0,r} = 56{,}460°$ pentru sezonul rece — octombrie, noiembrie, decembrie, ianuarie, februarie, martie — și $\beta_{0,a} = 37{,}186°$ pentru întreg anul. În aceste trei cazuri din urmă, unghiul optim a fost calculat cu relația (1), luînd pentru $S_{H,i}$ valorile zilnice, medii lunare multianuale (1960—1969), pentru perioadele corespunzătoare sezonului cald, sezonului rece și întregului an [3]. Aceste valori diferă dacă în locul valorilor iradianțelor zilnice (J/m², zi), care reprezintă întregul aport de energie din ziua standard, se folosește valoarea mediată a iradianțelor (W/m²) de la diferite ore din ziua-standard respectivă. Valoarea unghiului optim anual, calculată în cazul ultim, este cu circa 4° mai mare decît valoarea menționată mai sus [4].

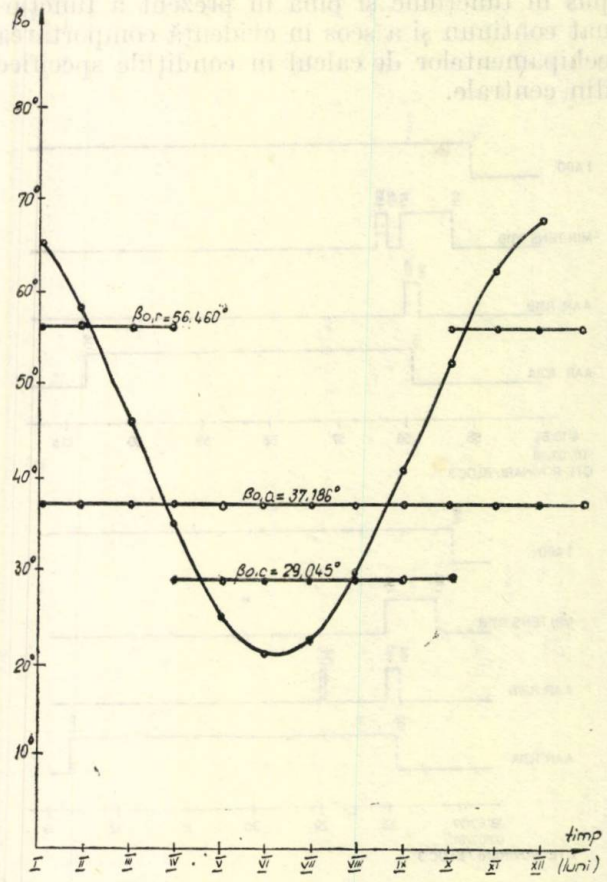


Fig. 1. Valorile unghiului optim pentru fiecare lună ($\beta_{o,l}$) și pentru sezonul cald ($\beta_{o,c}$), sezonul rece ($\beta_{o,r}$) și întreg anul ($\beta_{o,a}$).

Calculul iradianței globale pe o suprafață plană cu diferite orientări și înclinări

Calculul iradianței globale G, pe o suprafață de captare înclinată cu un unghi β față de orizontală, în vederea analizei aportului de energie în condiții diferite de orientare și înclinare, se face conform relației lui Liu și Jordan [5], [6], [7]:

$$G = S_H \frac{\cos i}{\sin h} + D_H \cos^2 \frac{\beta}{2} + G_H a \sin^2 \frac{\beta}{2}, \quad (3)$$

unde primul termen reprezintă iradianța directă, al doilea termen iradianța difuză și al treilea — iradianța datorită radiației reflectate de sol.

Mărimile G_H, S_H și D_H reprezintă valorile iradianței solare globală, directă, respectiv difuză, pe plan orizontal; a este albedoul, iar h unghiul de înălțare al soarelui sau altitudinea solară (unghiul dintre fascicolul de radiație

solară și planul orizontal) și se calculează conform expresiei:

$$\sin h = \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos \omega, \quad (4)$$

unde

ω este unghiul orar, a cărui valoare este zero la amiază și variază cu 15° longitudine pentru fiecare oră, astfel încît pentru orele de dimineață valorile sînt pozitive (la ora 11, $\omega = +15°$C), iar pentru cele de după-amiază valorile sînt negative (la ora 14, $\omega = -30°$C);

i — unghiul de incidență al fascicolului de radiație pe suprafața de captare — măsurat între direcția fascicolului și normala la plan și se calculează, pentru orice orientare γ a unei suprafețe înclinate cu un unghi β, conform relației generale:

$$\cos i = \sin \delta (\sin \Phi \cos \beta - \cos \Phi \sin \beta \cos \gamma) + \cos \delta \cos \omega (\cos \Phi \cos \beta + \sin \Phi \sin \beta \cos \gamma) + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \quad (5)$$

în care γ este unghiul azimutal al suprafeței captatoare — definit în același fel ca și unghiul de azimut solar —, adică unghiul măsurat în planul orizontal între direcția sud a locului și proiecția în planul orizontal a normalei pe suprafața de captare.

Pentru o suprafață orientată sud, care prezintă cazul cel mai interesant prin aportul de energie în emisfera nord, valorile unghiului de incidență i la diferite înclinări β ale suprafeței de captare sînt:

a) pentru o suprafață înclinată cu un unghi β oarecare:

$$\cos i = \sin (\Phi - \beta) \sin \delta + \cos (\Phi - \beta) \cdot \cos \delta \cos \omega \quad (6)$$

b) pentru o suprafață orizontală, $\beta = 0°$:

$$\cos i = \sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos \omega \quad (7)$$

c) pentru o suprafață verticală, $\beta = 90°$:

$$\cos i = -\sin \delta \cos \Phi + \cos \delta \sin \Phi \cos \omega \quad (8)$$

Pentru suprafețe orientate în afara sudului și înclinate cu un unghi β, se folosește relația generală (5).

Datele inițiale folosite în lucrare pentru exemplificarea metodei de calcul al aportului de energie reprezintă valorile iradianței globale G_H și a celei difuze D_H pe suprafața orizontală la orele 6, 9, 12, 15, 18, ca valori medii lunare multianuale pe un interval de 10 ani (1960—1969), obținute experimental la Institutul de meteorologie [3]. Aceste date au fost reprezentate grafic pentru fiecare lună. Valorile corespunzătoare iradianțelor G_H și D_H pentru fiecare oră, ca și cele ale iradianței directe S_H au fost obținute, primele prin interpolare, iar cea din urmă prin diferență: $S_H = G_H - D_H$. Ca exemplificare, în figura 2 sînt reprezentate graficele G_H, D_H și S_H pentru ziua standard a lunii iulie.

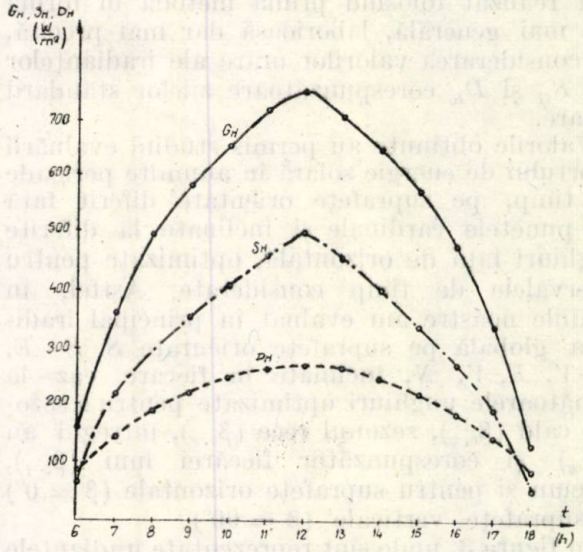


Fig. 2. Variația iradianțelor globale G_H, difuze D_H și directe S_H pe plan orizontal în cursul zilei standard a lunii iulie (din date statistice 1960—1969).

Iradianța globală G_z a unei zile standard a fost calculată prin însumarea iradianțelor globale orare din ziua respectivă, obținute cu ajutorul relației lui Liu și Jordan (3), pe baza datelor orare ale lui S_H, D_H, G_H.

O altă metodă de evaluare a aceleiași iradianțe globale zilnice folosește valorile medii zilnice ale lui $\bar{S}_H$, $\bar{D}_H$, și $\bar{G}_H$ în relația lui Liu și Jordan scrisă sub forma [7]:

$$G = R_s \bar{S}_H + R_d \bar{D}_H + R_r a \bar{G}_H, \quad (9)$$

în care R_s, R_d și R_r, numiți factori de înclinare, evidențiază importanța înclinării suprafeței de captare pentru fiecare tip de iradianță, directă, difuză și reflectată.

Expresiile acestor factori [7] sînt:

$$R_s = \frac{\cos(\Phi - \beta) \cos \delta \sin \omega_{s,r} + \omega_{s,r} \sin(\Phi - \beta) \sin \delta}{\cos \Phi \cos \delta \sin \omega_{s,r} + \omega_{s,r} \sin \Phi \sin \delta} \quad (10)$$

$$R_d = \cos^2 \frac{\beta}{2} \quad (11)$$

$$R_r = \sin^2 \frac{\beta}{2} \quad (12)$$

unde $\omega_{s,r}$ reprezintă unghiul orar la răsăritul soarelui.

Calculele efectuate prin ambele metode pentru orientarea sud au arătat că folosirea factorului de înclinare R_s și a unei valori medii

zilnice a lui $\bar{S}_H$ conduce la valori cu circa 10% mai mari decît cele obținute prin prima metodă.

Valorile iradianțelor globale orare, zilnice și lunare, ca și cele directe, difuze și reflectate, pentru diferite orientări și înclinări din lucrarea de față, au fost obținute pe baza unui program de calcul „Rudi", întocmit de noi. Programul a fost realizat folosind prima metodă în forma cea mai generală, laborioasă dar mai precisă, cu considerarea valorilor orare ale iradianțelor G_H, S_H și D_H corespunzătoare zilelor standard lunare.

Valorile obținute au permis studiul evaluării aportului de energie solară în anumite perioade de timp, pe suprafețe orientate diferit față de punctele cardinale și înclinate la diferite unghiuri față de orizontală, optimizate pentru intervalele de timp considerate. Astfel, în studiile noastre am evaluat în principal iradianța globală pe suprafețe orientate S, $S-E$, $S-V$, E, V, N, înclinate în fiecare caz la următoarele unghiuri optimizate pentru: sezonul cald ($\beta_{o.c}$), sezonul rece ($\beta_{o.r}$), întregul an ($\beta_{o.a}$) și corespunzător fiecărei luni ($\beta_{o.l}$), precum și pentru suprafețe orizontale ($\beta = 0°$) și suprafețe verticale ($\beta = 90°$).

În figura 3, unde sînt reprezentate iradianțele globale pentru lunile iulie și decembrie, calculate la toate orientările menționate mai sus, se evidențiază importanța alegerii unghiului de înclinare a suprafeței plane captatoare în special pentru lunile de vară. Astfel, pentru orientarea sud, plaja de valori pentru iradianța globală în luna iulie se întinde pe un interval de 340 MJ/m².lună, în timp ce pentru luna decembrie, în condiții similare de orientare

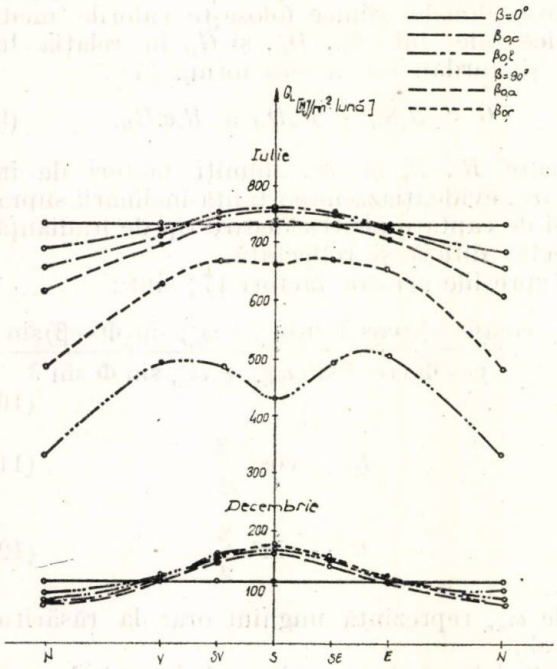


Fig. 3. Variația iradianței globale în funcție de orientare, la diferite unghiuri β de înclinare, pentru lunile iulie și decembrie.

și înclinare, iradianța globală se întinde pe un interval de 30 MJ/m²·lună. Alura curbelor este asemănătoare în acest din urmă caz, pentru toate unghiurile β, spre deosebire de cazul curbelor referitoare la luna iulie, unde pentru unghiuri de înclinare mari, la orientarea sud, nu se obține valoarea maximă.

În figurile 4 și 5 este reprezentată comparativ iradianța globală în funcție de orientarea suprafeței și diferite unghiuri de înclinare pentru sezonul cald, sezonul rece și, respectiv, pentru tot timpul anului, obținută prin însumarea contribuției iradianțelor de la cele două sezoane.

Acest studiu arată că suprafețele orientate sud, sud-est și în măsură mai mică sud-vest beneficiază cel mai mult de aportul energiei solare, diferențiindu-se evident și după unghiul de înclinare al suprafeței. Pentru orientările vest și nord, aportul de energie este maxim pe suprafețele orizontale, iar pentru est, aportul de energie pe suprafața orizontală este cu puțin inferior valorii maxime primite la această orientare.

În figura 6 sînt exemplificate dependențele iradianțelor globale lunare în cele două sezoane

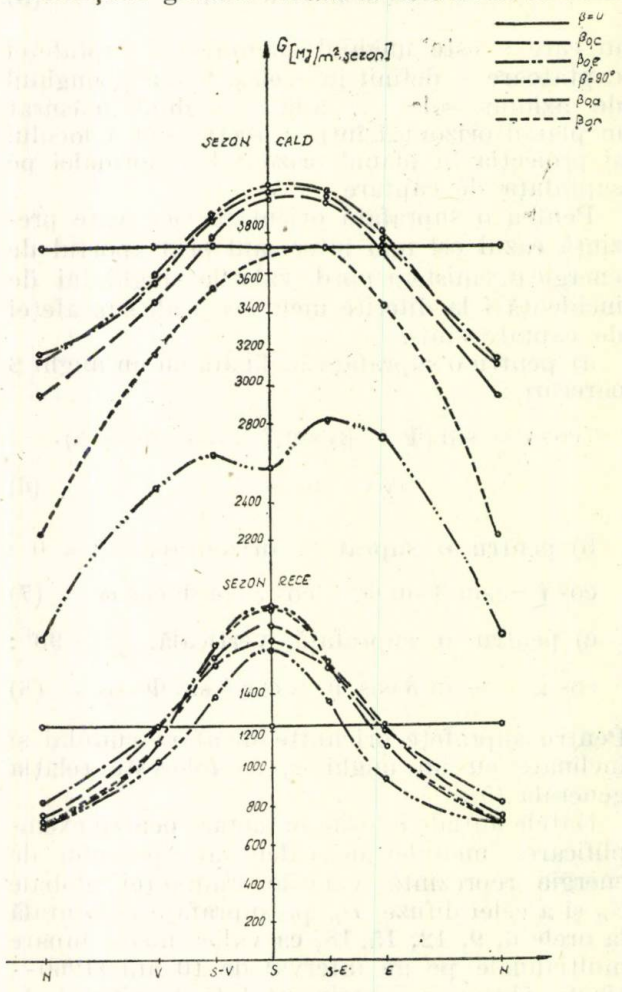


Fig. 4. Variația iradianței globale în funcție de orientare, la diferite unghiuri β de înclinare, pentru sezonul cald și sezonul rece.

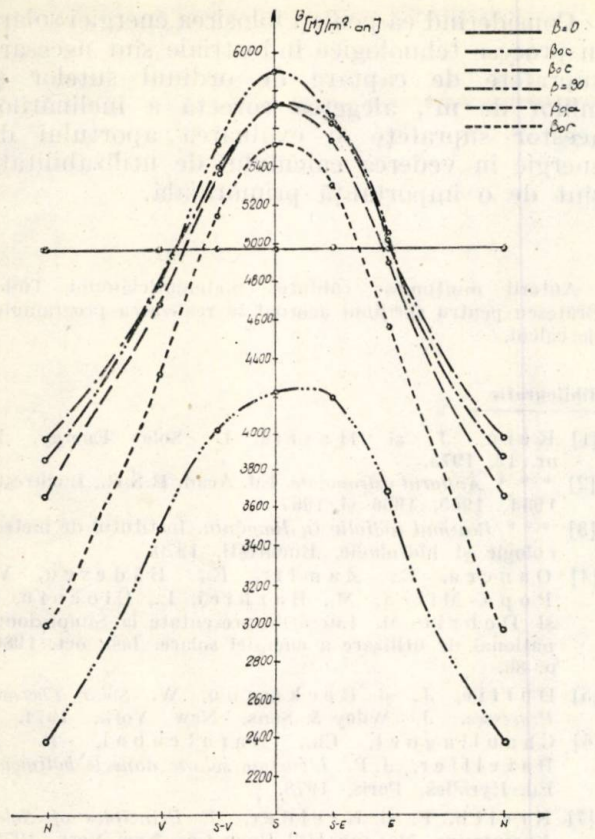


Fig. 5. Variaţia iradianţei globale în funcţie de orientare la diferite unghiuri β de înclinare, pentru întreg anul.

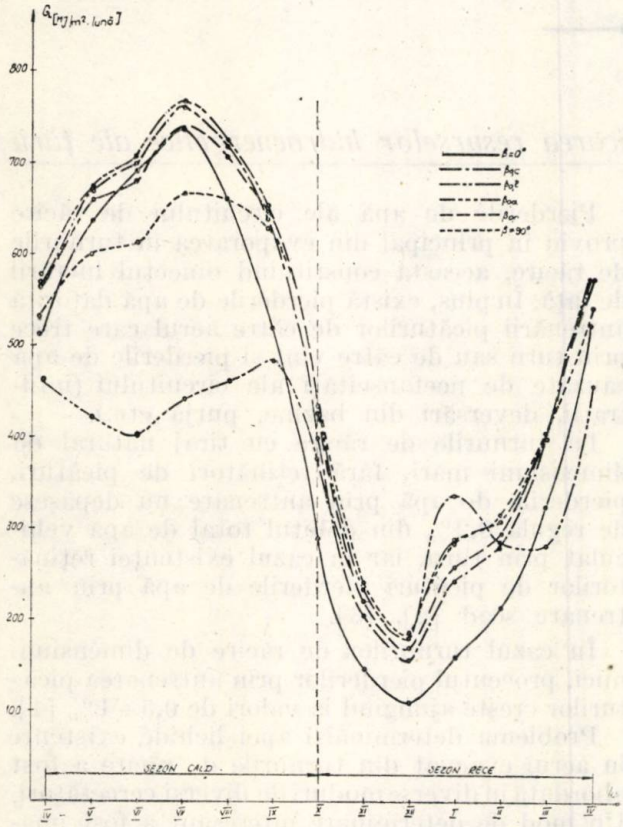


Fig. 6. Variaţia iradianţei globale pe o suprafaţă orientată sud, pentru diferite unghiuri de înclinare β, în cele două sezoane ale anului.

ale anului pentru orientarea sud. Se arată astfel variaţia iradianţei solare lunare în tot cursul anului, cu evidenţierea variaţiei acesteia în sezonul cald şi cel rece, precum şi diferenţa valorică a contribuţiei radiaţiei în cele două sezoane.

În figura 7 sînt reprezentate variaţiile valorilor medii zilnice, lunare multianuale, ale iradianţelor globale, directe, difuze şi reflectate, pentru o suprafaţă orientată sud în funcţie de lunile anului, pentru înclinarea $\beta_{0,c}$.

Figura 8 prezintă variaţia iradianţei globale, directe, difuze şi reflectate pe timp de un an pe suprafeţe orientate sud, sud-est, sud-vest, la diferite înclinări.

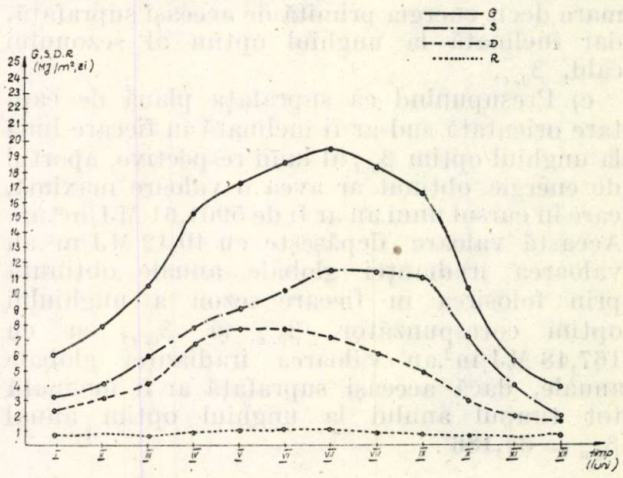


Fig. 7. Variaţia iradianţelor globale, directe, difuze şi reflectate în funcţie de lunile anului, pentru o suprafaţă orientată sud şi la unghiul de înclinare optim sezonului cald.

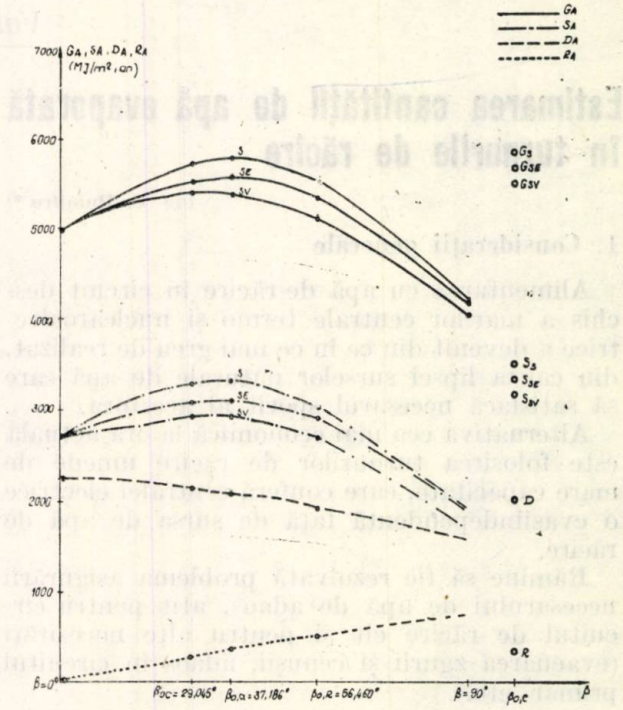


Fig. 8. Variaţia iradianţelor globale, directe, difuze şi reflectate în timpul unui an pe suprafeţe orientate S, S—E şi S—V la diferite unghiuri de înclinare β.

Evaluările aportului de energie în exemplele sus-menționate arată importanța ce trebuie acordată orientării și înclinării unei suprafețe plane captatoare de energie solară. Astfel, ca exemplificare, menționăm:

a) Energia solară primită în timpul sezonului cald pe o suprafață orientată sud, înclinată la unghiul optim corespunzător acestui sezon, $\beta_{0.c}$, este cu 352,04 MJ/m² · sezon cald mai mare decît energia primită în același timp de aceeași suprafață, dar înclinată la unghiul optim al sezonului rece, $\beta_{0.r}$.

b) Energia solară primită în timpul sezonului rece pe o suprafață orientată sud și înclinată cu $\beta_{0.r}$ este cu 158,78 MJ/m².sezon rece mai mare decît energia primită de aceeași suprafață, dar înclinată la unghiul optim al sezonului cald, $\beta_{0.c}$.

c) Presupunînd că suprafața plană de captare orientată sud ar fi înclinată în fiecare lună la unghiul optim $\beta_{0.l}$ al lunii respective, aportul de energie obținut ar avea o valoare maximă, care în cursul unui an ar fi de 5901,61 MJ/m².an. Această valoare depășește cu 40,12 MJ/m².an valoarea iradianței globale anuale obținută prin folosirea în fiecare sezon a unghiului optim corespunzător, $\beta_{0.c}$ și $\beta_{0.r}$, și cu 167,48 MJ/m².an valoarea iradianței globale anuale, dacă aceeași suprafață ar fi înclinată tot timpul anului la unghiul optim anual $\beta_{0.a} = 37{,}186°$.

Considerînd că pentru folosirea energiei solare în procese tehnologice industriale sînt necesare suprafețe de captare de ordinul sutelor și miilor de m², alegerea corectă a înclinărilor acestor suprafețe și evaluarea aportului de energie în vederea calculului de utilizabilitate sînt de o importanță primordială.

Autorii mulțumesc călduros matematicianului Tudor Brătescu pentru sprijinul acordat la realizarea programului de calcul.

Bibliografie

[1] Kern, J. și Harris, I. Solar Energy, 17 nr. 19, 1975.
[2] * * * *Anuarul astronomic.* Ed. Acad. R.S.R., București, 1964, 1965, 1966 și 1967.
[3] * * * *Regimul radiativ în România.* Institutul de meteorologie și hidrologie, București, 1970.
[4] Oancea, C., Zamfir, E., Bădescu, V., Popa-Milea, M., Barbici, L., Ciocoiu, I. și Dobrin M. Lucrările prezentate la Simpozionul național de utilizare a energiei solare. Iași, oct. 1980, p. 86.
[5] Duffie, J. și Beckmann, W. *Solar Thermal Processes.* J. Wiley & Sons, New York, 1974.
[6] Chauliagnet, Ch., Baratcabal, P. și Batellier, J. P. *L'énergie solaire dans le bâtiment.* Ed. Eyrolles, Paris, 1978.
[7] Kreith, F. și Kreider, J. *Principles of Solar Engineering.* McGraw-Hill Book Co., New York, 1978.

(Articol intrat în redacție în iunie 1981)

Valorificarea resurselor hidroenergetice ale țării

Estimarea cantității de apă evaporată în turnurile de răcire

Ing. C. Dumitru *)

1. Considerații generale

Alimentarea cu apă de răcire în circuit deschis a marilor centrale termo și nuclearoelectrice a devenit din ce în ce mai greu de realizat, din cauza lipsei surselor naturale de apă care să satisfacă necesarul sporit al acestora.

Alternativa cea mai economică la ora actuală este folosirea turnurilor de răcire umede de mare capacitate, care conferă centralei electrice o cvasiindependență față de sursa de apă de răcire.

Rămîne să fie rezolvată problema asigurării necesarului de apă de adaos, atît pentru circuitul de răcire cît și pentru alte necesități (evacuarea zgurii și cenușii, adaos în circuitul primar etc.).

*) Ing. Constantin Dumitru este cercetător științific la ICEMENERG.

Pierderile de apă ale circuitului de răcire provin în principal din evaporarea în turnurile de răcire, aceasta constituind obiectul lucrării de față. În plus, există pierderile de apă datorită antrenării picăturilor de către aerul care trece prin turn sau de către vînt și pierderile de apă cauzate de neetanșeități ale circuitului (infiltrații, deversări din bazine, purjă etc.).

La turnurile de răcire cu tiraj natural de dimensiuni mari, fără reținători de picături, pierderile de apă prin antrenare nu depășesc de regulă 0,2% din debitul total de apă vehiculat prin turn, iar în cazul existenței reținătorilor de picături pierderile de apă prin antrenare scad [2], [3].

În cazul turnurilor de răcire de dimensiuni mici, procentul pierderilor prin antrenarea picăturilor crește ajungînd la valori de 0,5 ÷ 1% [4].

Problema determinării apei lichide existente în aerul evacuat din turnurile de răcire a fost abordată în diverse moduri de diverși cercetători. Un mod de determinare interesant a fost imaginat de Rögener și Kowollik [5] și reluat de Chiniara [6]. Urmînd acest procedeu, în

ICEMENERG s-a construit o sondă ce urmează a fi experimentată.

Totuşi, prin aceste procedee de măsurare, presupuse corecte, se determină întreaga cantitate de apă lichidă existentă în aerul evacuat din turn; or, conţinutul de apă lichidă poate proveni atît din antrenarea picăturilor mici rezultate din pulverizare, cît şi din condensarea unei părţi din vaporii de apă conţinuţi în aerul umed (din cauza instabilităţii stării de suprasaturaţie).

Pierderile de apă cauzate de neetanşeitatea circuitului hidro depind de calitatea lucrărilor şi materialelor de construcţie. În calcule se poate considera un debit procentual estimativ de 1% pentru pierderile prin neetanşeităţi [4].

În cele arătate se vede că estimarea cantităţilor de apă pierdute prin antrenare şi prin neetanşeităţi se face cu multă aproximaţie, ele trebuind să fie adăugate pierderilor prin evaporare. În acest context apare necesitatea elaborării unui model de calcul simplu şi a unei nomograme pentru determinarea rapidă aproximativă a cantităţii de apă evaporată.

Lucrarea de faţă furnizează o relaţie de calcul şi o nomogramă pentru estimarea aproximativă ($\pm 10\%$) a cantităţii de apă evaporată în turnurile de răcire, pentru debite de apă recirculată ajungînd pînă la 180 000 m³/h, temperaturi ale aerului cuprinse între −10°C şi 40°C şi intervale de răcire pînă la 15 grd.

2. Estimarea evaporării în turnurile de răcire umede

Se scrie ecuaţia de bilanţ termic a turnului de răcire sub forma:

$$G_{apă} \cdot c_{apă} \cdot t_1 - (G_{apă} - G_{ev}) \cdot c_{apă} \cdot t_2 = G_{aer}\,(i_2 - i_1) \quad (1)$$

Ştiind că: $G_{ev} = G_{aer}\,(x_2 - x_1)$, rezultă debitul relativ de apă evaporată, dat şi în lucrarea [1]:

$$g_{ev} = \frac{G_{ev}}{G_{apă}} = \frac{c_{apă} \cdot \Delta t}{\dfrac{i_2 - i_1}{x_2 - x_1} - c_{apă} \cdot t_2} \quad (2)$$

Cu relaţia de calcul (2) s-a determinat g_{ev}, folosind datele de ieşire din calculul termic al unui turn de răcire ipotetic în contracurent avînd: multiplul de aer $\lambda = 0{,}3 \div 2{,}5$ kg·aer/kg·apă, cifra Merkel, $K_e = 0{,}5 \div 2$ kg/kg, temperatura aerului ambiant la termometrul uscat, $\theta = -10 \div 40$°C, umiditatea relativă a aerului ambiant, $\varphi = 0{,}4 \div 1$ şi $P_{barom} = 755$ mm Hg.

S-a evidenţiat că mărimea g_{ev} este o funcţie de variabilele θ, φ, Δt, λ şi K_e. Ultimele două (λ şi în special K_e) influenţează mai puţin valoarea lui g_{ev}. De aceea în raport cu aceste variabile valoarea funcţiei g_{ev} s-a mediat aşa încît λ şi K_e să se apropie cît mai mult de valorile reale, întîlnite practic la măsurători pe turnuri de răcire în exploatare.

S-a obţinut astfel o relaţie generalizată aproximativă pentru calculul cantităţii procentuale de apă evaporată, g_{ev} (%), în raport cu variabilele independente θ, φ şi Δt de forma:

$$\boxed{g_{ev}(\%) \approx (0{,}11 - 0{,}01167 \cdot \varphi + 0{,}00157 \cdot \theta) \cdot \Delta t} \quad (3)$$

La limită, pentru $\Delta t \to 0$, relaţiile (2) şi (3) furnizează $g_{ev} = 0$. În realitate acest lucru este valabil doar pentru $\varphi = 1$. Dacă $\Delta t = 0$, atunci $t_1 = t_2 = \tau$, iar pentru $\varphi < 1$ avem $g_{ev} \neq 0$.

Relaţia (3) este valabilă cu aproximaţie pentru orice turn de răcire umed în contracurent şi pentru următoarele domenii de variaţie a parametrilor:

$$\theta = -10 \div 40\text{°C};\ \varphi = 0{,}4 \div 1;\ 2 < \Delta t < 15\text{°C}$$

Pentru exemplificare, considerînd $\Delta t = 12$ grd şi $\varphi = 0{,}7$, se observă că g_{ev} (%), calculată cu relaţia (3), ia valori de aproximativ 1% (pentru $\theta = -10$°C) şi de aproximativ 2% (pentru $\theta = 40$°C).

Cu ajutorul relaţiei de calcul (3) a procentului de apă evaporată, s-a trasat nomograma din figura 1, reprezentînd cantitatea de apă evaporată, pentru umiditatea relativă a aerului ambiant de $\varphi = 0{,}7$, considerată ca o medie a valorilor întîlnite într-un amplasament oare-

Tabel centralizator pentru determinarea aproximativă a pierderilor de apă din circuitul de răcire închis echipat cu turnuri de răcire umede (fără considerarea debitului de purjă)

$$\Sigma g\,\% = g_{ev}\,\% + g_s\,\% + g_n\,\% = g_{ev}\,\% + 1\,\%$$

θ (°C)	−10			0			10			20			30			40		
φ	0,4	0,7	1	0,4	0,7	1	0,4	0,7	1	0,4	0,7	1	0,4	0,7	1	0,4	0,7	1
Δt = 5 grd	1,45	1,43	1,41	1,53	1,51	1,49	1,6	1,59	1,57	1,68	1,67	1,65	1,76	1,74	1,73	1,84	1,82	1,8
Δt = 10 grd	1,89	1,86	1,83	2,05	2,02	1,98	2,21	2,17	2,14	2,37	2,33	2,29	2,52	2,49	2,45	2,68	2,65	2,61
Δt = 15 grd	2,34	2,29	2,24	2,58	2,53	2,47	2,81	2,76	2,71	3,05	3,0	2,95	3,28	3,23	3,18	3,52	3,47	3,42

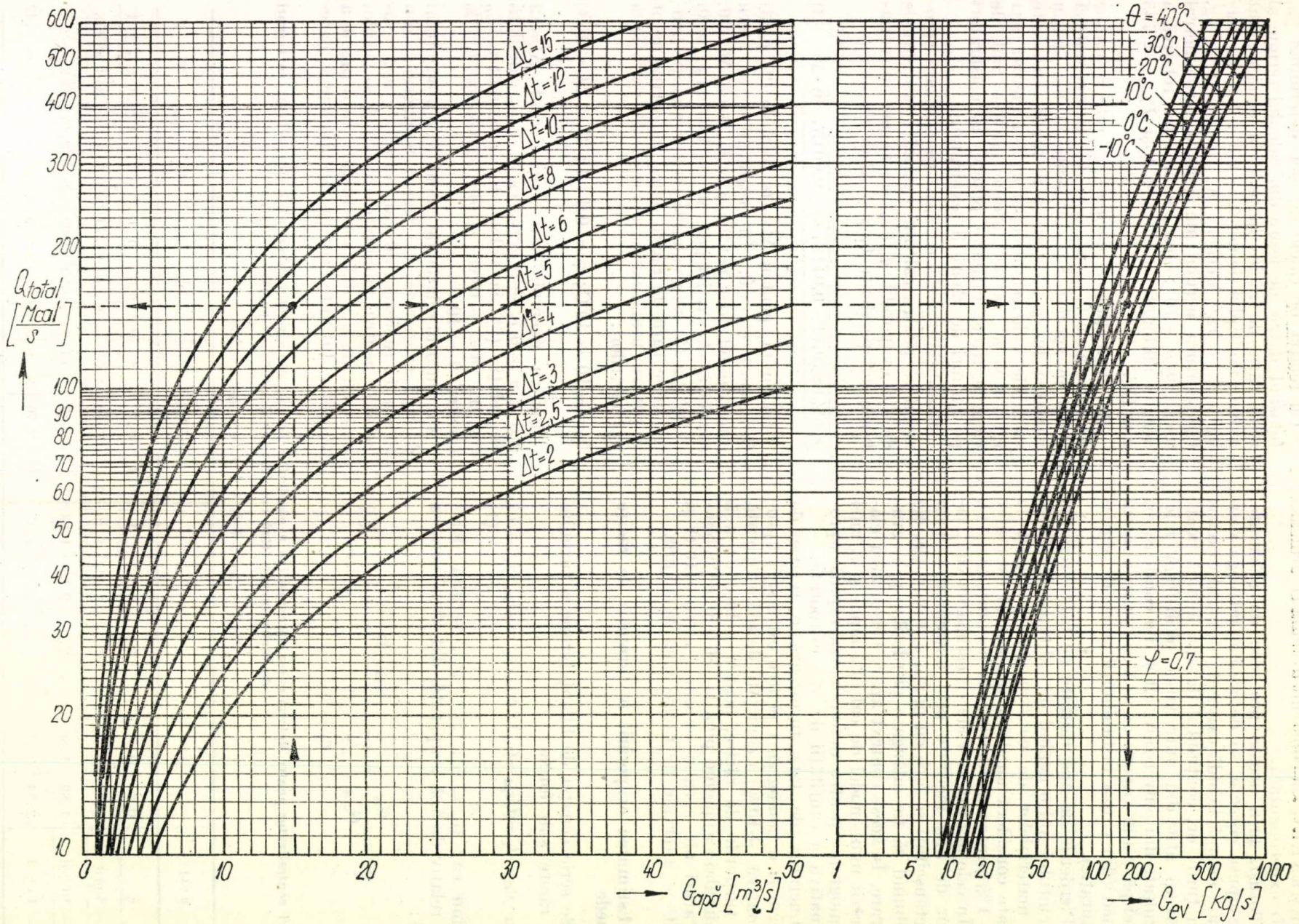


Fig. 1. Nomogramă pentru determinarea cantității de apă evaporată în turnurile de răcire umede ($\varphi = 0{,}7$).

care. În figura 2 s-a prezentat coeficientul de corecție m, cu care se vor multiplica valorile lui G_{ev} obținute din nomogramă, în cazul în

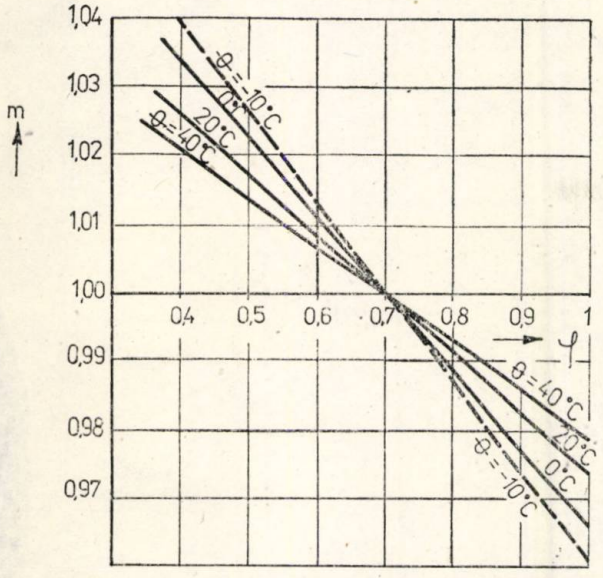


Fig. 2. Factorul de corecție m pentru determinarea cantității de apă evaporată pentru $\varphi \neq 0{,}7$.

care $\varphi \neq 0{,}7$. Cantitatea de apă evaporată va fi:

$$G_{ev} = m \cdot G_{ev\,(nomogramă)} \qquad (4)$$

Considerînd suma pierderilor prin antrenare și neetanșeități ca fiind $g_s + g_n = 1\% = \text{const.}$, se determină procentul total aproximativ al pierderilor de apă din circuitul de răcire echipat cu turnuri umede în contracurent (v. tabelul).

Concluzii

Se consideră că precizia cu care s-a determinat cantitatea de apă evaporată este destul de bună, ea neputînd fi îmbunătățită prea mult pe baza unor măsurători directe asupra obiectivului, în cazul în care acesta este deja construit.

Se dispune astfel de o posibilitate simplă de determinare a evaporării în turnurile de răcire ale unei centrale electrice, utilă atît proiectării, pentru stabilirea amplasamentului optim al centralei, cît și exploatării, pentru gospodărirea apelor și întreținerea corespunzătoare a circuitului de răcire în ansamblu.

Notații

$G_{apă}$ — debitul de apă recirculat prin turnuri

G_{aer} — debitul gravimetric de aer uscat vehiculat prin turn

G_{ev} — debitul de apă evaporat

$G_{ev\,(nomogramă)}$ — debitul de apă evaporat citit din nomograma din fig. 1, la $\varphi = 0{,}7$

$g_{ev} = G_{ev}/G_{apă}$ — raportul între debitul de apă evaporat și debitul total de apă vehiculat prin turn

Q_{total} — cantitatea totală de căldură evacuată prin turnuri

t_1, t_2 — temperatura apei la intrarea, respectiv ieșirea din turn

$\Delta t = t_1 - t_2$ — intervalul de răcire în turn

i_1, i_2 — entalpia specifică (raportată la kg aer uscat) la intrarea, respectiv ieșirea din turn

x_1, x_2 — umiditățile absolute ale aerului la intrarea, respectiv ieșirea din turn

θ — temperatura aerului ambiant la termometrul uscat

τ — temperatura aerului ambiant la termometrul umed

φ — umiditatea relativă a aerului ambiant ($\varphi \leqslant 1$)

$\lambda = G_{aer}/G_{apă}$ — multiplul de aer al turnului

$K_e = \int_{t_2}^{t_1} \frac{capă.dt}{i'' - i}$ — cifra de evaporare (Merkel)

i, i'' — entalpia curentă a aerului la trecerea prin turn și, respectiv, entalpia corespunzătoare a aerului saturat la temperatura apei

P_{barom} — presiunea barometrică

$g_s = G_{picături\ antrenate}/G_{apă}$; $g_n = G_{scăpat\ prin\ neetanșeități}/G_{apă\ circuit}$

$m = G_{ev}/G_{ev\ nomogramă}$ — factor de multiplicare a debitului citit din nomogramă în cazul în care $\varphi \neq 0{,}7$.

Bibliografie

[1] * * * *Norme V.D.I. pentru turnurile de răcire*, 1959.

[2] * * * *Almospheric Environment*, Anglia, vol. 8, 1974.

[3] * * * Seminarul asupra aspectelor de mediu ale sistemelor de răcire ale centralelor termice, Zürich, Elveția, 13 — 16 mai 1974.

[4] Moțoiu, C. *Centrale termo și hidroelectrice*. Editura didactică și pedagogică, București, 1974.

[5] Rögener, H. și Kowollik, G. *Messung des Tropfenauswurfs von Kühltürmen*. În: BWK 15, nr. 5, 1963.

[6] Chiniara, C. *Ein thermodynamisches Verfahren zur Bestimmung des Tropfengehalles nasser Luft*. În: BWK 25, nr. 2, 1973.

(Articol intrat în redacție la 25 martie 1981)

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția: București, Bd. Energeticienilor 8, Sectorul 3. Telefon: 20 67 30. Instituțiile pot achita abonamentele pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 3. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/7914/1979

I. P. I. c. 1640

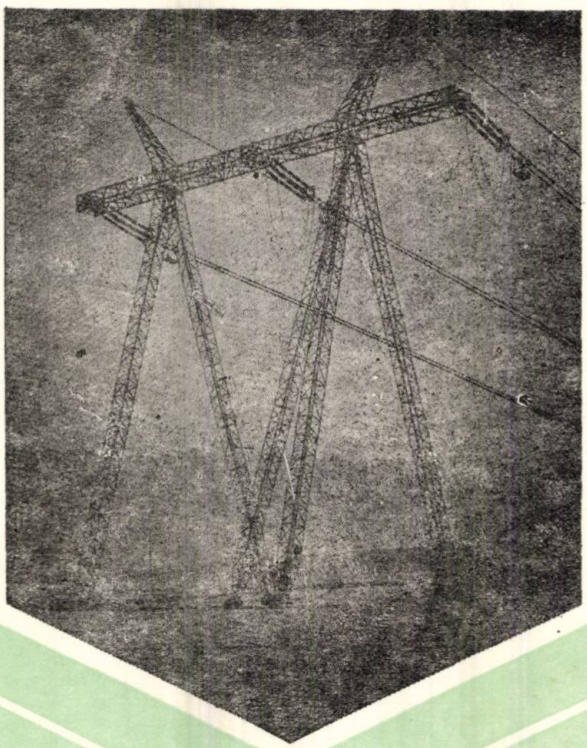
41 401

ROMELECTRO

INTREPRINDERE PENTRU
COMERT EXTERIOR

B-dul Lacul Tei, nr. 1 sector 2
Bucuresti 7000, c. p. 1 – 736
tel 12 13 26 – 12 05 51
TELEX : 10 449 roel r
BUCURESTI – ROMANIA

EXPORT • IMPORT • INSTALATII ENERGETICE • ENGINEERING • CONSULTING • ANTREPRIZA GENERALA



Romelectro Foreign Trade Company carries out services in the power field ranging from studies and designs up to projects commissioning.

EXPORTS :

- high, medium and low voltage lines ;
- transformer and distribution substations and points ;
- poles and fittings for the high, medium and low voltage lines ;
- rural electrification equipment ;
- erection and assembling of power projects carreid out abroad for thermo and hydropower stations, special civil works (cooling towers, chimneys), dams, hydrotechnical constructions etc., export and transport of electric power ;
- studies, designs, technic assistance, expert's accounts in the power field as well as other specific engineering jobs.

IMPORTS :

- complex power installation and equipment for thermo and hydropower generating plants ;
- specific equipment and components for the power field, relevan spare parts included ;
- equipment, apparata and materials for the erection of high, medium and low voltage lines and for turn-key deliveries.

ROMENERGO

FOREIGN TRADE COMPANY

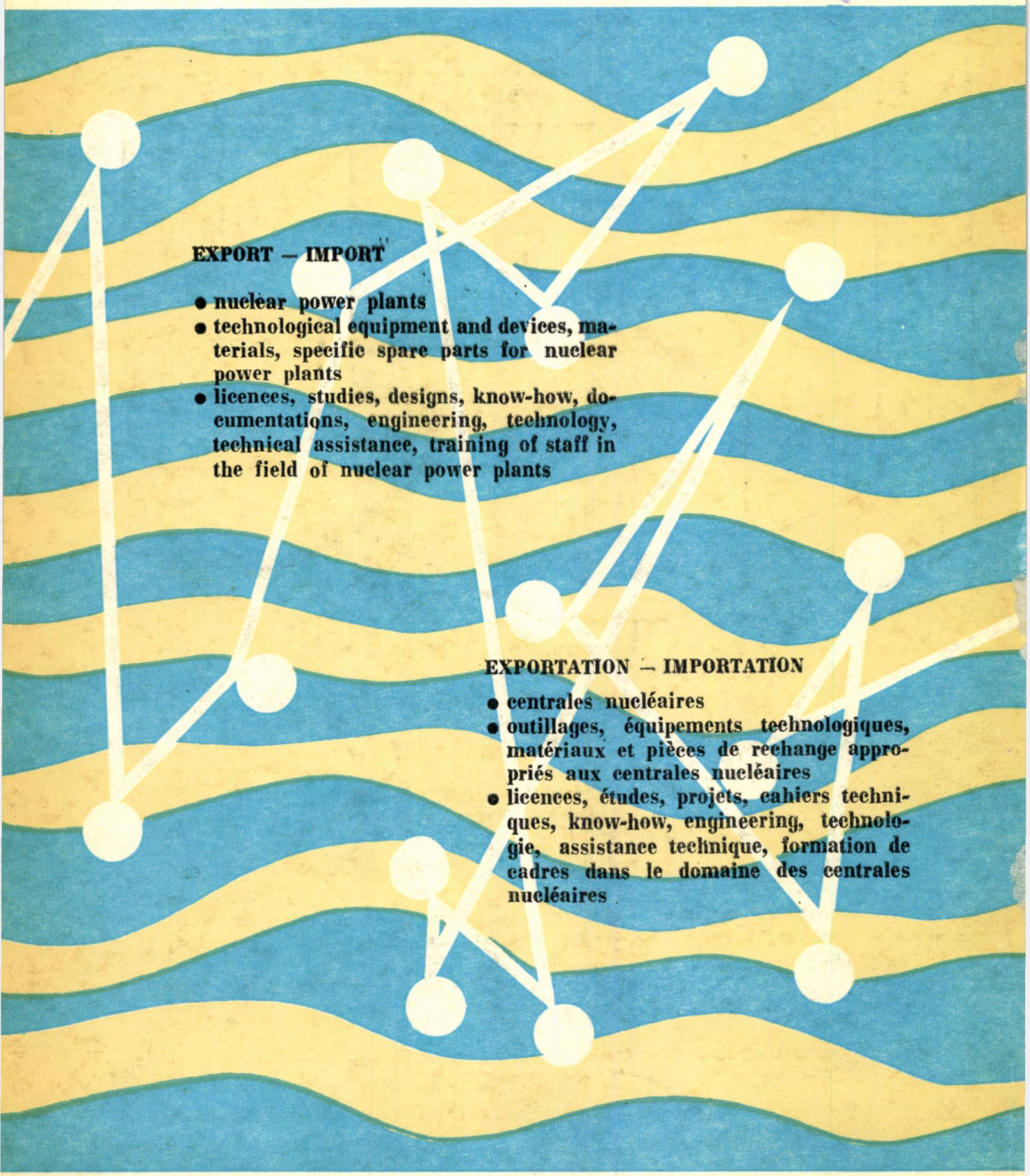
ROMÂNIA - BUCHAREST
Calea Victoriei 194 - Sector 1
CABLES:
ROMENERGO BUCUREȘTI
P.O. BOX: 22 - 153
TELEX: 011525 romeng r
POSTAL CODE: 71 101

PHONE: 50 66 82

RE

IMPORT-EXPORT IN THE NUCLEAR FIELD

1982 SEP 1



EXPORT — IMPORT

- **nuclear power plants**
- **technological equipment and devices, materials, specific spare parts for nuclear power plants**
- **licences, studies, designs, know-how, documentations, engineering, technology, technical assistance, training of staff in the field of nuclear power plants**

EXPORTATION — IMPORTATION

- **centrales nucléaires**
- **outillages, équipements technologiques, matériaux et pièces de rechange appropriés aux centrales nucléaires**
- **licences, études, projets, cahiers techniques, know-how, engineering, technologie, assistance technique, formation de cadres dans le domaine des centrales nucléaires**

= 2039

Vilcea

MW

11-12

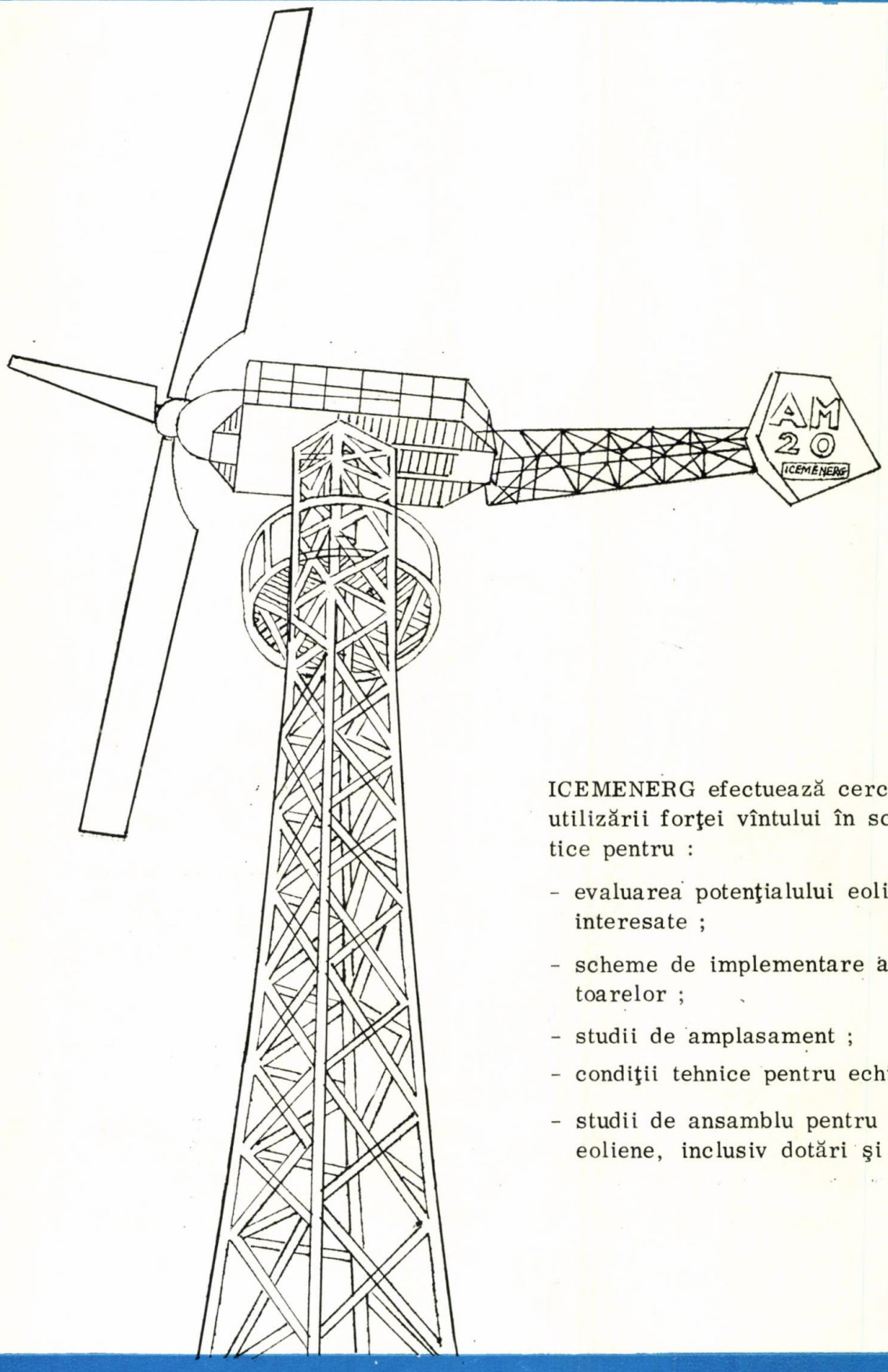
REFERALVA

VOLUMUL XXIX
BUCUREŞTI
NOIEMBRIE-DECEMBRIE 1981

energetica

0 6 12 18 24

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE CERCETĂR
ȘI MODERNIZĂRI ENERGETICE
BUCUREȘTI, Sectorul III • B-dul ENERGETICIENILOR 8 • Telefon : 21.46.30



ICEMENERG efectuează cercetări asupra utilizării forţei vîntului în scopuri energetice pentru :

- evaluarea potenţialului eolian în zonele interesate ;
- scheme de implementare a aerogeneratoarelor ;
- studii de amplasament ;
- condiţii tehnice pentru echipamente ;
- studii de ansamblu pentru centralele eoliene, inclusiv dotări şi conexe.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 29 Nr. 11–12 noiembrie–decembrie

MUSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1983

Cuprinsul

		Pag.
Alex. Forje şi *D. Potlog*	**Două manifestări ştiinţifice de înalt prestigiu: Al XVI-lea Congres Internaţional de Istoria Ştiinţei şi Simpozionul Internaţional „Oamenii de ştiinţă şi Pacea"**	461–464
I. D. Suceveanu şi *Gh. Ţăruş*	**Reglajul vitezei prin frecvenţă – sursă potenţială de economie de energie**	465–469
L. Mihăescu	**Capacitatea de aprindere a prafului de combustibil solid inferior în jeturi turbionate**	470–485
I. M. Ionescu, I. Müller şi *M. Constantin*	**Posibilităţi de recuperare a masei combustibile din zgură prin recirculare, procedeu de reducere a pierderilor prin nearse mecanice la cazanele ce ard lignit**	485–489
A. Cristovici	**Posibilităţi de reducere a pierderilor pe liniile de foarte înaltă tensiune, prin reglarea tensiunii funcţie de încărcarea liniilor şi de condiţiile meteorologice**	489–491
L. Preda şi *N. Sufleţel*	**Determinarea sarcinilor nesimetrice limită admise în exploatare de generatoarele şi compensatoarele sincrone**	492–497
R. Enache	**Aspecte ale determinării supratensiunilor la conectarea în gol a unei LEA 400 kV**	497–501
N. Niculescu, M. Voinea ş.a.	**Contribuţii la optimizarea funcţionării sistemelor de termoficare**	501–507
Em. Mirzan, V. Şerban ş.a.	**Experienţă de exploatare a funcţionării hidrogeneratoarelor de la CHE Lotru-Ciunget în regim consumator de putere reactivă**	508–516
MONOGRAFII		
Al. Spătaru	**Centrala electrică de termoficare Borzeşti la a 25-a aniversare**	516–523
RECENZII		

COLEGIUL DE REDACŢIE

dr. ing. **Gh. Bălan** (redactor responsabil adjunct), ing. **St. Berenghi**, ing. **P. Cartianu**, ing. **M. M. Dăncilă**, ing. **H. Furtunescu**, ing. **N. Georgian**, dr. ing. **Gh. Luca**, dr. chim. **Maria Maftei**, dr. ing. **G. Manolescu**, ing. **B. Marcu**, dr. ing. **A. Măcriş**, ing. **I. Măiereanu** (redactor responsabil adjunct), dr. ing. **C. Mihăileanu** (redactor responsabil), prof. dr. doc. **V. I. Nitu**, dr. ing. **E. Pavel**, dr. ing. **Ţ. Popa**, dr. ing. **C. I. Staicu** (secretar redacţie).

СОДЕРЖАНИЕ

2 научных выступления на высоком уровне: XVI Международный Конгресс по Истории Науки и Международный симпозиум «Ученые и Мир»
Energetica 29 (1981), No. 11–12, стр. 461–464

ДК 621.311.22/23 :621.316.718.5
И. Д. Сучевеану и *Г. Цэруш:* **Регулирование скорости частотой – потенциальный источни, экономии энергии**
Выделяются экономические преимущества благодаря значительной экономии энергии, которая можно достигнуть на промышленных ТЭЦ малой и средней мощности, а также и в других промышленных установках путем использования частичного регулирования скорости приводных электродвигатэлей насосов, вентиляторов, воздуходувок, смесителей и т. д. Далее приводится краткое описание основных типов статических преобразователей частоты, применяемых с этой целью.
Energetica 29 (1981), No. 11–12, стр. 465–469

ДК 621.311.87 :662 :64/66
Л. Михэеску: **Способность сжигания пылевидного низкокачественного твердого топлива в вихревых струях**
В статье представлены результаты исследований по способности сжигания пылевидного низкокачественного твердого топлива в зависимости от конструктивных и фунциональных элементов горелок. Из представленных данных видно, что воспламенение облака частиц зависит от множества факторов для каждого вида твердого топлива, причем необходимо учитывать оптимизацию их взаимодействия. Применение вращающихся струй (вихревых горелок) значительно облегчает возможность воспламенения даже таких видов топлива, которые обладают малым содержанием летучих веществ или имеющих высокие зольность и влажность.
Energetica 29 (1981), No. 11–12, стр. 470–485

ДК 621.311 :621.311.18 :662.61
И. М. Ионеску, И. Мюллер и *М. Константин:* **Возможности рекуперации горючей массы из шлака путем рециркуляции — способ снижения потерь от механического недожога в котлах, работающих на лигните**
На электростанциях, основным топливом которых является лигнит и у которых потери от механического недожога являются большими, сжигание шлака может стать интересным решением снижения удельных расходов в конкретных условиях установок в нашей стране. Предложенный способ, испытанный авторами, относится только к сжиганию шлака от воронки топочной установки.
Energetica 29 (1981), No. 11–12, стр. 485–489

ДК 621.315.1: 621.3.015.532
А. Христович: **Возможности снижения потерь на линиях сверхвысокого напряжения регулированием напряжения в зависимости от нагрузки линий и от метеорологических условий**
Анализируя кратко колебания потерь от короны в зависимости от метеорологических условий, автор предлагает модель для потерь мощности на линиях сверхвысокого напряжения, которая может привести к определению оптимального режима работы ЛЭП.
Energetica 29 (1981), No. 11–12, стр. 489–491

ДК 621.313.12+621.313.325
Л. Преда и *Н. Суфлецел:* **Определение предельных несимметрических нагрузок, допустимых в эксплуатации генераторов и синхронных компенсаторов**
Рассматривается метод безошибочного определения действительной несимметрической нагрузки в 3-фазных установках, используя значения трех неуравновешенных токов и номограмму, избегая таким образом ошибочных отключений установок при действительных несимметрических нагрузках намного ниже тех пределов, которые они допускают.
Energetica 29 (1981), No. 11–12, стр. 492–497

ДК 621.315.1 :621.3.015.3
Р. Енаке: **Аспекты определения перенапряжения при холостом включении ВЛ 400 кВ.**
На основе полученных результатов при моделировании на числовой ЭВМ рассматриваются характер и параметры распределения амплитуды, время достижения максимального значения, наклон и продолжительность фронта перенапряжени фаза-земля и фаза-фаза, возникающих при холостом включении ВЛ 400 кВ.
Energetica 29 (1982), No. 11–12, стр. 497–501

ДК 697.34.004.1
Н. Никулеску, М. Войнеа и др.: **Оптимизация работы теплофикационных систем**
Статья содержит краткий анализ схем ТЭЦ с целью оптимизации выработки тепла и работы ТЭЦ, а также анализ целесообразности и экономической эффективности внедрения промежуточных насосных станций в теплофикационные системы.
Energetica 29 (1981), No. 11–12, стр. 501–507

ДК 621.311.21: 621.3.016.45
Е. Мырзан, В. Шербан, Р. Попа и *И. Дафинка:* **Опыт эксплуатации гидрогенераторов ГЭС Лотру-Чунджет в режиме, потребляющем реактивную мощность**
Описывается экспериментально проверенный и легко применяемый в рамках эксплуатационных предприятий метод аналитического расчета для работы в емкостном режиме ГЭС, удаленных от точек соединения с системой и снабженных электронными АРН. На основе анализа аварии, состоящеи в колебаниях в работе блока на ГЭС Лотру-Чунджет, представляются результаты основных экспериментов по статической и динамической устойчивости в емкостных режимах, а также излагаются основные итоги опыта эксплуатации в таких режимах.
Energetica 29 (1981), No. 11–12, стр. 508–516

ДК 621.311.22/23
А. Спэтару: **25-я годовщина ТЭЦ Борзешть**
Energetica 29 (1981), No 11–12, стр. 516–523

INHALTSVERZEICHNIS

Zwei wissenschaftliche Veraustaltungen von hohem Auschere : Die XVI. Internationale Kongress der Wissenschaftsgeschichte und das Internationale Symposion "Die Wissenschaftler und der Frieden"
Energetica 29 (1981), H. 11–12, S. 461–464

DK 621.311.22/23 :621.316.718.5
I.D. Suceveanu und *Gh. Ţăruş* : **Geschwindigkeitseinstellung durch die Frequenzpotentielle Quelle der Energieeinsparung**
Es werden hervorgehoben die wirtschaftlichen Vorteile dank der wichtigen Energieinsparung, die in Heizkraftwerken kleiner und mittlerer Leistung und in anderen industriellen Anwendungen durch die Geschwindigkeitseinstellungen durch die Frequenz der Elektromotoren die die Pumpen antreiben, der Lüfter, Gebläse, Rührgeräte etc. hergestellt werden. Es werden auch die wesentlichen statischen Frequenzwandlertypen die zu diesem Zweck dienen, kurzgefasst.
Energetica 29 (1981), H. 11–12, S. 465–469

DK 621.311.87 :662 ;64/66
L. Mihăescu : **Das Zündvermögen des minderwertigen festen Brennstoffstaubes im Wirbelstrahl**
Die Arbeit stellt die Forschungsergebnisse über das Zündvermögen des minderwertigen festen Brennstoffstaubes, abhängig von den Bau- und Funktionselementen des Zünders dar. Von den vorgeführten Daten geht es hervor, dass das Entzünden der Staubwolke von einer Vielfalt von Kennwerten abhängt; für jeden festen Brennstofftyp muss eine Optimierung der Parameterwechselwirkung in Betracht gezogen. Die Verwendung der Rotationsstrahlen (Wirbelbrenner) vereinfacht die Zündmöglichkeit auch für die flüchtigarmen oder balasthaltigen Brennstoffe (Asche und Feuchtigkeit).
Energetica 29 (1981), H. 11–12, S. 470–485

DK 621.311 :621.311.18 :662.61

I.M. Ionescu, I. Müller und *M. Constantin* : **Rückgewinnungsmöglichkeiten der Brennstoffmasse aus Schlacke durch Rückführung — ein Verfahren zur Verlustverminderung durch mechanisches Unverbranntes in Braunkohle gefeuerten Kesseln**

In den Kraftwerken die Braunkohle als Hauptbrennstoff verwenden und in welchen die Verlüste durch mechanisches Unverbranntes sehr gross sind, kann die Schlackenverbrennung eine interessante Lösung für die Verminderung des spezifischen Verbrauchs, in dem konkreten Fall einiger Anlagen aus unserem Land werden. Das vorgeschlagene Verfahren, das von den Verfassern versucht wurde, bezieht sich nur auf das Schlackenverbrennung aus dem Feuerungstrichter.

Energetica 29 (1981), H. 11—12, S. 485—489

DK 621.315.1 :621.3.015.532

A. Cristovici : **Verlustminderungsmöglichkeiten auf Hochspannungsleitungen, durch Spannungseinstellung abhängig von der Strombelastung und den Wetterbedingungen**

Der Verfasser stellt eine knappe Analyse der Corona-Verluständerung, abhängig von den Wetterbedingungen dar und schlägt ein Modell für die Leistungsverlüste auf Hochspannungsleitungen vor — das Modell soll zur Bestimmung eines optimalen Betriebes der Leitung führen.

Eenergetica 29 (1981), H. 11—12, S. 489—491

DK 621.313.12+621.313.325

L. Preda und *N. Sufleţel* : **Bestimmung der asymmetrischen Grenz-Ladungen, im Betrieb von den Synchrongeneratoren und- phasenschreiber zugelassen**

Es wird eine fehlerlose Bestimmungsmethode der realen asymmetrischen Ladung in Dreileiteranlagen, die die drei unausgeglichenen Stromwerte und ein Nomogramm verwendet und die fehlerhafte Abschaltung der Anlagen bei asymmetrischen Ladungen unter den zugelassenen Grenzen vermeidet.

Energetica 29 (1981), H. 11—12, S. 492—497

DK 621.315.1 :621.3.015.3

R. Enache : **Aspekte der Überspannungsbestimmung bei der Nulleinschaltung einer 400 kV Leitung**

Auf Grund der durch Modellierung auf einem Digitalrechner erworbenen Ergebnisse werden die Kennzeichen und Kennwerte der Amplitudeverteilung, der Zeit für das Scheitelwerterreichen, die Weigung und die Dauer der Überspannungsfront Phase-Phase und Phase-Erde die bei der Nulleinschaltung einer 400 kV Leitung erscheinen studiert.

Energetica 29 (1981), H. 11—12, S. 497—501

DK 697.34.004.1

N. Niculescu, M. Voinea u.a : **Beiträge zur Betriebsoptimierung der Fernwärmeversorgungssysteme**

Die Arbeit enthält eine kurze Analyse der Heizkraftwerkschaltungen zwecks der Optimierung der Wärmeerzeugungsdiagramme und des Kraftwerkbetriebs, als auch eine Analyse der Zweckmässigkeit und des wirtschaftlichen Nutzens der Einführung der Pumpenstationen im Heizkraftwerksystem.

Energetica 29 (1981), H. 11—12, S. 501—507

DK 621.311.21 :621.3.016.45

Em. Mîrzan, V. Şerban, R. Popa und *I. Dafinca* : **Betriebserfahrung mit den Wasserkraftgeneratoren im Wasserkraftwerk Lotru-Ciunget, in den Systemen die unklose Leistung verbrauchen**

Es wird eine analytische Berechnungsmethode, die Versuchsweise überprüft wurde und leicht anwendbar in den Betrieben, für die kapazitive Betriebsart der Wasserkraftwerke die von den Anschlusspunkten entfernt sind, dargestellt. Folglich einer Havarieanalyse, die in den Schwankungen die während dem Betrieb eines Aggregats bei Lotru-Ciunget bestand, werden die wichtigsten Versuchsergebnisse über die statische und dynamische Beständigkeit im kapazitiven Betrieb vorgeführt und die hauptsächlichen Schlussfolgerungen aus der Betriebserfahrung gezogen.

Energetica 29 (1981), H. 11—12, S. 508—516

DK 621.311.22/23

Al. Spătaru : **Das Heizkraftwerk Borzeşti beim 25. Jahrestag**

Energetica 29 (1981), H. 11—12, S. 516—523

SOMMAIRE

Deux manifestations de haut prestige : le XVI-ème Congrès International de l'Histoire de la Science et le Symposion International „Les Scientifiques et la Paix"
Energetica 29 (1981), no. 11—12, p. 461—464

CD 621.311.22/23 :621.316.718.5

I.D. Suceveanu et *Gh. Ţăruş* : **Le réglage de la vitesse par la fréquence — source potentielle d'économie d'énergie**

On montre les avantages économiques dus à l'économie d'énergie que l'on peut obtenir dans les centrales industrielles de production simultanée d'énergie thermique et électrique de puissance moyenne et minimum, ainsi que dans d'autres applications industrielles, en utilisant le réglage de la vitesse par la fréquence des électromoteurs d'entraînement des pompes, des ventilateurs, des soufflantes, des agitateurs etc. On présente aussi les principaux types de convertisseurs statiques de fréquence utilisables dans ce but.

Energetica 29 (1981), no. 11—12, p. 465—469

CD 621.311.87 :662 :64/66

L. Mihăescu : **L'inflammation de la poussière de combustible solide inférieur en jets tourbillonnés**

L'article présente les résultats concernant la capacité d'inflammation de la poussière de combustible solide inférieur en fonction des éléments constructifs et fonctionnels du brûleur. A l'aide des données présentées, on peut constater que l'inflammation du nuage de particules dépend de plusieurs facteurs et pour chaque combustible solide on doit prendre en considération l'optimisation de leur interraction. L'emploi des jets rotationnels (des brûleurs tourbillonnaires) facilite beaucoup la possibilité d'inflammation, même dans le cas des combustibles pauvres en matières volatiles ou à haute teneur en ballast (cendre et humidité).

Energetica 29 (1981), no. 11—12, p. 470—485

CD 621.311 :621.311.18 :662.61

I.M. Ionescu, I. Müller et *M. Constantin* : **Possibilités de récupération de la masse combustible de la scorie en utilisant la récirculation — procédé de diminution des pertes par les produits non-brûlés mécaniques résultés des chaudières à lignite**

Dans les centrales électriques qui utilisent le lignite en tant que combustible principal et où les pertes par les produits non-brûlés mécaniques sont grandes, la combustion de la scorie peut devenir une solution intéressante pour réduire les consommations spécifiques dans les conditions concrètes de certaines installations de notre pays. Le procédé proposé et expérimenté par les auteurs se rapporte seulement à la combustion de la scorie résultée à la trémie de la chambre de combustion.

Energetica 29 (1981), no. 11—12, p. 485—489

CD 621.315.1 :621.3.015.532

A. Cristovici : **Possibilités de diminution des pertes sur les lignes électriques de très haute tension, par le réglage de la tension en fonction du chargement des lignes et des conditions météorologiques**

En présentant une brève analyse sur les variations des pertes par l'effet de couronne, en fonction des conditions météorologiques, l'auteur propose un modèle pour les pertes de puissance sur les lignes à très haute tension qui puisse déterminer un régime optimum de fonctionnement de la ligne.

Energetica 29 (1981), no. 11—12, p. 489—491

CD 621.313.12+621.313.325

L. Preda et *N. Sufleţel* : **Détermination des charges-limite non-symétriques admises dans l'exploitation des générateurs et compensateurs synchrones**

On décrit une méthode à l'aide de laquelle on peut déterminer sans erreurs les charges réelles non-symétriques aux installations à trois conducteurs, en utilisant les valeurs des trois courants déséquilibrés et un nomogramme. Ainsi, on peut éviter les déconnexions érronnées des installations aux charges réelles non-symétriques qui surgissent au-dessous des limites qu'elles peuvent admettre.

Energetica 29 (1981), no. 11—12, p. 492—497

CD 621.315.1 :621.3.015.3

R. Enache : **Aspects de la détermination des surtensions intervenant à la connexion en creux de charge d'une ligne électrique aérienne de 400 kV**

A l'aide des résultats obtenus par simulation sur un calculateur numérique, on étudie le caractère et les paramètres de la répartition de l'amplitude, la période d'atteinte de la valeur maximum, l'inclination et la durée du front des surtensions phase-terre et phase-phase qui surgissent au couplage en creux de charge d'une ligne de 400 kV.

Energetica 29 (1981), no. 11–12, p. 497–501

CD 697.34.004.1

N. Niculescu M., Voinea et a. : **Contributions à l'optimisation du fonctionnement des systèmes de production combinée de la chaleur et de l'énergie électrique**

L'article contient une analyse succinte des schémas des centrales chaleur/force afin d'optimiser la production de la chaleur et le fonctionnement de ces centrales, ainsi que l'analyse de l'opportunité et de l'efficience économique des postes intermédiaires de pompage dans les systèmes de chauffage à distance.

Energetica 29 (1981), no. 11–12, p. 501–507

CD 621.311.21 :621.3.016.45

Em. Mârzan, V. Şerban, R. Popa et *I. Dafinca* : **Expérience d'exploitation du fonctionnement des hydrogénérateurs de la centrale hydroélectrique de Lotru-Ciunget en régime de consommateur de puissance réactive**

On décrit une méthode de calcul analytique verifiée expérimentalement et qu'on peut facilement appliquer aux installations d'exploitation pour le fonctionnement en régime capacitif des centrales hydroélectriques éloignées des points de raccord et qui sont équipées avec des RAT électroniques. A la suite de l'analyse d'une avarie, qui consiste dans les pendulations apparues dans le fonctionnement d'un groupe de la centrale Lotru-Ciunget, on montre les résultats des principales expérimentations concernant la stabilité statique et dynamique dans les régimes capacitifs. On expose, également, les principales conclusions de l'expérience d'exploitation dans tels régimes.

Energetica 29 (1981), no. 11–12, p. 508–516

CD 621.311.22/23

Al. Spătaru : **La centrale électrique chaleur/force à son 25-ème anniversaire**

Energetica 29 (1981), no. 11–12, p. 516–523

CONTENTS

Two scientific manifestations of high prestige : the XVI-th International Congress of the History of Science and the International Symposium "The Scientists and the Peace"

Energetica 29 (1981), nr. 11–12, p. 461–464

DC 621.311.22/23 :621.316.718.5

I.D. Suceveanu and *Gh. Ţăruş* : **Speed control through frequency — a potential source for energy savings**

The economic advantages due to the substantial energy savings that may be realized by low and mean power plants for combined thermal and electrical energy generating as well as for other industrial applications are presented. The speed control through frequency of the electromotors is used, the latter setting in motion the pumps, the fans, the blowers, the blenders. This paper also focuses on the main types of static converters of frequency that can be used with this end.

Energetica 29 (1981), nr. 11–12, p. 465–469

DC 621.311.87 :662 :64/66

L. Mihăescu : **Inflammability of the low rank pulverized fuel in swirling jets**

The article presents the results provided by some experiments regarding the inflammability of the low rank pulverized fuel function of the constructive and fonctional elements of the burner. From the data presented it can be concluded that the inflammability of the particle cloud depends on very many factors for each solid fuel having to take into account the optimization of their interraction. The use of the rotational jets (swirling burners) makes more likely for the inflammability to occur even in the case of the fuels very poor in volatile matters or with a high content of balast (ash and humidity).

Energetica 29 (1981), nr. 11–12, p. 470–485

DC 621.311 :621.311.18 :662.61

I.M. Ionescu, I. Müller and *M. Constantin* : **Possibilities for the fuel mass recovery from the slag using recirculation, a method for the loss reduction of the mechanical unburnt matters resulting from the lignite boilers**

In the case of the electric plants, where lignite is mainly used an where the losses due to the mechanical unburnt matters are great, the combustion of the lignites may be an interesting solution to the specific consumptions under the concrete conditions of certain installations of this country. The method proposed and experimented by the authors refers only to the slag burning provided by the furnace funnel.

Energetica 29 (1981), nr. 11–12, p. 485–489

DC 621.315.1 :621.3.015.532

A. Cristovici : **Possibilities for the losses reduction at the lines of very high voltage, using the voltage control function of the lines loading as well as of the weather conditions**

A brief analysis on the corona losses variations, function of the weather conditions is presented. The author proposes a model of the power losses that occur at the lines of very high voltage, a model by the help of which the line could operate in the best regime.

Energetica 29 (1981), nr. 11–12, p. 489–491

DC 621.313.12+621.313.325

L. Preda and *N. Sufleţel* : **Unsymmetrical loads limit determination allowed by the synchronous generators and phase-modifiers in operation**

A method is presented for the correct determination of the actual, unsymmetrical load in the installations with three conductors. The value of three unbalanced currents and a nomogram are used, thus avoiding the erroneous cut-offs of the installations at actual unsymmetrical loads within the limits that the latter may allow.

Energetica 29 (1981), nr. 11–12, p. 492–497

DC 621.315.1 :621.3.015.3

R. Enache : **Aspects regarding the overvoltages determination at the gap connection of the 400 kV transmission lines**

On the basis of the results provided by modelling on a digital computer, the paper focuses on the nature and parameters characterizing the amplitude distribution, as well as on the maximum value attaining time. The inclination and the duration of the overvoltages front phase-earth and phase-phase which are necessary for the gap connection of a 400 kV line are also presented.

Energetica 29 (1981), nr. 11–12, p. 497–501

DC 697.34.004.1

N. Niculescu, M. Voinea a.o. : **For an optimum operation of the systems of combined generating of thermal and electric energy**

To optimize the operation of the systems for the combined production of heat and power, this paper is concerned with the analysis of the schemes of these systems. The suitability and the economic efficiency of the intermediate pumping stations introduction into the systems of the district heating.

Energetica 29 (1981), nr. 11–12, p. 501–507

DC 621.311.21 :621.3.016.45

Em. Mîrzan, V. Şerban, R. Popa and *I. Dafinca* : **Practical experience of the hydrogenerator operation from Lotru-Ciunget hydroelectric power station in a consuming regime of reactive power**

An analytic calculus method is presented, which was experimentally checked and which can be easily applied to the power plants, for the hydroelectric station operation in a capacitive regime, which are far from the connection points. The paper analyses the failure caused by the oscillations that occur in the operation of a unit from the Lotru-Ciunget hydroelectric station. The results of the main experiments are presented, regarding the static and dynamic stability in capacitive regimes. The main conclusions of the operating experiences in such regimes are shown.

Energetica 29 (1981), nr. 11–12, p. 508–516

DC 621.311.22/23

Al. Spătaru : **The Borzeşti combined heat and power station at the 25-th anniversary**

Energetica 29 (1981) nr. 11–12, p. 516–523

Două manifestări științifice de înalt prestigiu:

Al XVI-lea Congres Internațional de Istoria Științei și Simpozionul Internațional „Oamenii de știință și Pacea"

La sfîrșitul acestei veri și începutul toamnei, România, în tradiția sa consacrată de ospitalitate, s-a constituit drept punct de incidență pe plan științific, și în același timp politic, pentru două acte de înaltă cultură și umanism. Oameni de știință din lumea întreagă, savanți reputați, printre care laureați ai Premiului Nobel, au dezbătut, în cadrul Congresului Internațional de Istoria Științei, despre trecutul, prezentul și viitorul cunoașterii umane științifice. Ca urmare firească, în continuarea congresului, s-a desfășurat o a doua manifestare cu o semnificație de stringentă actualitate pentru lumea contemporană, Simpozionul internațional „Oamenii de știință și Pacea".

Al XVI-lea Congres Internațional de Istoria Științei

În perioada 26 august — 3 septembrie 1981, la București a avut loc unul dintre cele mai prestigioase evenimente din lumea științifică : cel de-al XVI-lea Congres Internațional de Istoria Științei.

Alegerea ca gazdă a acestei manifestări a capitalei țării noastre (după ultimele ediții, care au avut loc la Moscova, Tokio—Kyoto, Edinburgh) a constituit încă o confirmare a prestigiului de care se bucură în lume țara noastră, politica ei de pace și colaborare promovată consecvent de președintele Nicolae Ceaușescu.

Congresul a fost organizat de Uniunea Internațională de Istoria și Filozofia Științei și a beneficiat de înaltul patronaj al tovarășei academician doctor inginer Elena Ceaușescu, prim-vice-prim-ministru al guvernului Republicii Socialiste România, președintele Consiliului Național de Știință și Tehnologie.

Au participat peste 1200 de oameni de știință și specialiști din 50 de țări, programul congresului fiind deosebit de bogat, de o amplă orientare tematică.

Un rol important l-a avut bogata și prestigioasa participare românească.

Dintru început trebuie subliniată tema generală în ale cărei ample perspective s-au desfășurat și dezbătut lucrările congresului: „Știință și tehnologie, umanism și progres".

Ca o trăsătură de esență a acestui prestigios eveniment științific, trebuie semnalat faptul că, la propunerea României, în programul congresului a fost inclus pentru prima dată un simpozion consacrat viitorului, o încercare de a investiga direcțiile, domeniile și tendințele de dezvoltare a activității de cercetare științifică, posibilitățile de a-și spori rolul său în ameliorarea condițiilor de muncă și viață ale oamenilor.

La ședința de deschidere, în prezidiul congresului au luat loc tovarășa academician Elena Ceaușescu, acad. Ion Ursu, prim-vicepreședinte al CNST, acad. Gheorghe Mihoc, președintele Academiei R.S. România, președintele Comitetului român de organizare a congresului, prof. A. T. Gregorian, președintele Uniunii Internaționale de Istoria și Filozofia Științei, membri ai Biroului Uniunii : Erik Forbes, Fr. Greenway, Rupert Hall (Marea Britanie), O. Pederson (Danemarca), René Taton (Franța), Ștefan Bălan (România), A. Y. Hassan (Siria), Erwin Hibert, Roger Hahn (S.U.A.), S. R. Nikulinski (U.R.S.S.). Au luat parte, de asemenea, membri ai guvernului, academicieni, cercetători, cadre didactice din învățămîntul superior, alți reprezentanți ai vieții noastre științifice și au fost prezenți șefi de misiuni diplomatice acreditați în țara noastră, alți membri ai corpului diplomatic, trimiși speciali ai unor ziare, posturi de radio și televiziune, corespondenți ai presei străine.

În cuvîntul de inaugurare a lucrărilor congresului, tovarășa academician Elena Ceaușescu a subliniat că „istoria științei demonstrează că fiecare popor — fie el mare sau mic — poate aduce o contribuție de seamă la dezvoltarea științei, la sporirea tezaurului universal de creație științifică și tehnică, de care trebuie să beneficieze larg toate națiunile".

Din cuvîntarea tovarășei academician Elena Ceaușescu au rezultat evident eforturile și poziția țării noastre pe această linie de idei. Astfel: „România, consacrîndu-și plenar forțele și energiile creatoare făuririi societății socialiste multilateral dezvoltate, acordă științei o importanță de prim ordin, prețuiește în mod deosebit aportul oamenilor de știință la dezvoltarea generală a țării, la întărirea independenței și suveranității sale naționale. De altfel, întreaga istorie de peste două milenii a poporului nostru, lupta sa de secole pentru apărarea ființei naționale, pentru libertate și progres ilustrează cu putere rolul de seamă pe care știința și cultura, slujitorii săi l-au avut în dezvoltarea societății românești. În toate momentele hotărîtoare ale afirmării noastre pe planul istoriei — în lupta pentru formarea și dezvoltarea conștiinței naționale, pentru unirea principatelor române, cucerirea independenței și făurirea statului național unitar, pentru înfăptuirea revoluției de eliberare socială și națională, oamenii științei s-au aflat alături de popor, au acționat ca patrioți înflăcărați, consacrîndu-și întreaga activitate cauzei nobile a progresului și înfloririi țării. Ei au adus și își aduc o contribuție de seamă la dezvoltarea gîndirii științifice și tehnice românești și, totodată, la îmbogățirea tezaurului științei universale. Este cunoscut aportul original al oamenilor de știință români în domeniul aviației, al motoarelor cu reacție, al matematicii, chimiei, medicinii, precum și în diferite alte discipline ale științelor tehnice și umaniste".

Congresul a fost organizat pe patru grupe principale de manifestări:

A. *Secțiile științifice*, ale căror lucrări au avut următoarele problematici:

A.1. Știința și tehnologia în antichitate (36 rapoarte).
A.2. Știința și tehnologia din antichitate pînă în anul 1600 (37 rapoarte).
A.3. Matematică și mecanică (50 rapoarte).
A.4. Fizică și astronomie (57 rapoarte).
A.5. Chimie (38 rapoarte).
A.6. Biologie (33 rapoarte).
A.7. Medicină și farmacie (45 rapoarte).
A.8. Științe agricole (9 rapoarte).
A.9. Științele pămîntului (38 rapoarte).
A.10. Inginerie și tehnologie (41 rapoarte).
A.11. Istoria științelor omului (27 rapoarte).
A.12. Știința și societatea (51 rapoarte).
A.13. Probleme metodologice în istoria filozofiei și științei (68 rapoarte).
A.14. Transporturile și telecomunicațiile din secolele 19 și 20 (17 rapoarte).

Este interesant de menționat că, din totalul rapoartelor, un număr de circa 254 (46%) au constituit aportul oamenilor de știință și specialiștilor din România, ceea ce denotă încă o dată nivelul preocupărilor științifice din țara noastră, capacitatea poporului român de a aborda și a contribui activ la problemele științei pe plan mondial, cît și condițiile superioare acordate de partidul și statul nostru în domeniul științei și culturii.

B. *Simpozioane* organizate cu următoarele tematici:

B.1. Rolul standardizării unităților în istoria științei și tehnologiei.
B.2. Tehnologia, umanismul și pacea. Aspecte istorice.
B.3. Știința, tehnologia și problemele dezvoltării sociale. Comparații și perspective.
B.4. Știința și învățămîntul în Renaștere.

B.5. Creaţia ştiinţifică şi problemele progresului.
B.6. Contribuţia femeii la dezvoltarea istoriei ştiinţei şi tehnologiei.
B.7. Rolul instrumentelor ştiinţifice în dezvoltarea ştiinţei.
B.8. Revoluţia secolului 20 în biologie.
B.9. Promovarea cercetării ştiinţifice şi a educaţiei în istoria ştiinţei şi tehnologiei.
B.10. Păstrarea şi utilizarea moştenirii naturale şi culturale.
B.11. Publicaţii referitoare la istoria ştiinţei.
B.12. Istoria acusticii muzicale.

Lucrările în cadrul simpozioanelor s-au desfăşurat pe baza unor rapoarte difuzate în prealabil şi a intervenţiilor participanţilor.

C. *Şedinţe în probleme specializate*

C.1. Probleme ale interacţiunii dintre ştiinţele naturale, cele tehnice şi cele sociale (11 rapoarte şi 12 intervenţii).
C.2. Necesitate şi şansă în descoperirea ştiinţifică (5 rapoarte şi 5 intervenţii).
C.3. Relaţiile matematică-fizică începînd cu secolul 18 (5 rapoarte şi 5 intervenţii).
C.4. Dezvoltarea ştiinţei şi tehnologiei în Extremul Orient (8 rapoarte şi 7 intervenţii).
C.5. Matematica şi fizica în ţările arabe ale Evului Mediu (6 rapoarte şi o intervenţie).
C.6. Sursele primare ale istoriei ştiinţei şi tehnologiei. Tipologia surselor manuscrise (7 rapoarte şi 11 intervenţii).
C.7. Istoria ştiinţei şi tehnologiei în Africa (3 rapoarte).

D. *Comemorări*

D.1. A 1000-a aniversare a lui Avicenna (5 rapoarte şi 8 intervenţii).

Participarea românească la congres, amplă nu numai prin numărul comunicărilor prezentate, cît mai ales prin profunzimea de fond şi originalitatea temelor abordate, a dat posibilitate participanţilor străini să cunoască spectrul amplu al investigaţiei ştiinţifice româneşti, atît pentru trecut şi prezent, cît şi sub aspectul de perspectivă a dezvoltării noastre pe planul cunoaşterii ştiinţifice.

Este demn de semnalat, în sensul celor de mai sus, raportul prezentat de acad. Ion Ursu, intitulat: „Priorităţi şi perspective ale ştiinţei şi tehnologiei româneşti", în cadrul simpozionului „Ştiinţa, tehnologia şi problemele dezvoltării sociale — comparaţii şi perspective istorice".

În raport se arată că revoluţia tehnico-ştiinţifică contemporană, schimbînd radical condiţiile producţiei materiale şi de asemenea posibilităţile de a transfera în beneficiul omului şi al condiţiei umane cuceririle ştiinţifice, deschide o cale evidentă şi clară pentru accesul la bunăstare al întregii umanităţi. Integrată ferm în cadrul unui program corelat, dezvoltarea tehnico-ştiinţifică românească şi-a precizat perspectiva dezvoltării producţiei materiale ordonată firesc într-un echilibru logic, avînd, de o parte a balanţei, necesităţile sociale şi materiale ale populaţiei, iar de cealaltă — resursele materiale şi forţele productive.

Tot în cadrul secţiei B — Simpozioane —, pentru originalitatea temei propuse dezbaterilor, autori acad. Ştefan Bălan şi N. Mihăilescu, s-a constituit lucrarea intitulată „Istoria cronologică a ştiinţei şi tehnicii în cifre".

O contribuţie de un interes major a constituit-o, în cadrul simpozionului „Tehnologie, umanism şi pace — Aspecte istorice", raportul „Tehnologie, umanism şi civilizaţie", prezentat de M. Drăgănescu, membru corespondent al Academiei R.S. România.

Desigur, exemplele citate nu epuizează nici pe departe numărul comunicărilor româneşti de valoare, şi care au întrunit aprecieri unanime din partea participanţilor străini şi români; ne vom opri însă aici, ţinta expunerii de faţă fiind în principal semnalarea calităţii de excepţie a manifestării ştiinţifice constituită de congres.

Simpozionul internațional „Oamenii de știință și Pacea"

Ca un corolar firesc al desfășurării lucrărilor congresului, în ziua de 4 septembrie 1981, sub înaltul patronaj al președintelui Republicii Socialiste România, tovarășul Nicolae Ceaușescu, s-a deschis și desfășurat la București simpozionul internațional „Oamenii de știință și pacea".

În cadrul simpozionului, participanții au ascultat cu emoție mesajul președintelui țării noastre, care a sintetizat clar și explicit poziția consecventă pe care România o are față de acest deziderat fundamental al tuturor oamenilor de bine de pe întreaga noastră planetă, Pacea lumii.

S-a exprimat și îngrijorarea pentru rolul nefast pe care îl poate avea utilizarea cuceririlor științei puse în slujba creării armelor de distrugere în masă, subliniată în următoarele rînduri:

„Trebuie să spunem însă deschis că multe din marile descoperiri ale cercetării științifice și creației tehnice sînt folosite astăzi pentru producerea celor mai sofisticate arme de distrugere în masă, începînd cu arma atomică. În lume are loc o accentuare deosebit de îngrijorătoare a cursei înarmărilor, acumularea de arsenale militare în stare să distrugă întreaga planetă, să pună în pericol însăși viața umanității. Asistăm la agravarea încordării pe arena mondială, ca rezultat al politicii imperialiste de dominație, forță și dictat, se manifestă cu putere tendința de consolidare și reîmpărțire a zonelor de influență, se ascut contradicțiile între state și grupări de state.

În același timp, în lume se afirmă tot mai puternic voința popoarelor de a trăi libere, de a se dezvolta de sine stătător, de a pune cu desăvîrșire capăt colonialismului și neocolonialismului, oricăror forme de asuprire, de a asigura înnoirea democratică, progresistă a societății, bunăstarea maselor largi muncitoare, de a instaura pe arena mondială relații cu adevărat noi, de egalitate deplină între țări, de destindere, colaborare și pace".

În luările de cuvînt, atît în cadrul simpozionului cît și declarațiile făcute la posturile noastre de radio și televiziune, oamenii de știință români și străini, participanți la simpozion, și-au exprimat în unanimitate adeziunea la efortul nobil al lumii întregi de a-și salva liniștea și viața prin pace.

În încheierea lucrărilor, participanții la simpozion au lansat un apel adresat oamenilor de știință ai tuturor statelor de pe glob, și în fapt întregii umanități, din al cărui text ținem să citățm ultimele alineate:

„Să slujim cu înalt devotament nobilele idealuri ale păcii, să ne facem datoria față de propria noastră conștiință, față de contemporanii noștri, față de comandamentele supreme ale umanității, să oferim omenirii o perspectivă pe măsura aspirațiilor ei scumpe, a forței sale de creație, să ne dovedim la înălțimea a tot ce a făurit mai de preț civilizația umană de-a lungul secolelor!

Avem ferma convingere că unindu-ne forțele, intensificînd conlucrarea noastră, știința va deveni cu adevărat o armă a vieții, astfel încît toate popoarele să-și poată spori contribuția la patrimoniul cunoașterii universale, ca pacea, securitatea și colaborarea să triumfe pe planeta noastră".

Alexandru Forje și Dorin Potlog
— ICEMENERG —

Reglajul vitezei prin frecvență — sursă potențială de economie de energie

Ing. I. D. Suceveanu
și ing. Gh. Țăruș*)

Deoarece articolul de față prezintă, pe lîngă aspectele generale ale economiei de energie prin reglajul de viteză, numai două exemple concrete din multiplele posibilități de aplicare existente în practică, redacția revistei invită cititorii să-și exprime părerea, prin intermediul revistei, asupra problemelor ridicate de autori, posibilităților de generalizare și în alte ramuri industriale, precum și asupra economicității acestei soluții.

Actuala conjunctură economică, generată de limitarea resurselor energetice și de majorarea continuă a costului energiei, impune luarea în considerare a tuturor posibilităților de a evita risipa de energie, pe de o parte, și analiza atentă a oricăror mijloace de a utiliza cu randament sporit consumatorii de energie, pe de altă parte.

În general, industria utilizează cu succes diferite metode de variație a vitezei sistemelor de acționare, metode care s-au impus uneori nu numai datorită performanțelor și calității reglajului, ci și ca urmare a unor randamente energetice superioare.

O analiză din punct de vedere energetic arată că un sistem de acționare trebuie să îndeplinească mai multe condiții, și anume:

— să fie echipat cu un motor cu randament ridicat, condiție îndeplinită în genere de motoarele electrice;

— organele de transmisie să fie fără pierderi sau alunecări importante;

— sistemul de comandă trebuie să asigure un regim optim de funcționare, inclusiv din punct de vedere energetic.

Ultima condiție presupune implicit o reglare de viteză pentru a obține regimul optim energetic al sistemului.

Metodele de reglare a vitezei sistemelor de acționare larg răspîndite azi în industrie se bazează în general pe motorul de curent continuu sau pe modificarea alunecării motorului asincron. Metodele de reglare prin variația alunecării motorului asincron (modificarea rezistenței rotorice, variația tensiunii de alimentare, introducerea unei tensiuni electromotoare suplimentare în circuitul rotoric) au ca rezultat micșorarea, într-o măsură mai mare sau mai mică, a randamentului energetic al sistemului. Există de asemenea multe sisteme ce utilizează turbina cu abur ca forță motrice pentru antrenarea mașinilor de lucru, fie la viteză constantă, fie la viteză variabilă. În acest caz randamentul este mai scăzut decît în cazul acționării electrice.

Singura soluție comparabilă cu reglarea prin tensiune a motorului de curent continuu este metoda de reglare a vitezei prin modificarea frecvenței tensiunii de alimentare statorice a motoarelor electrice asincrone sau sincrone. De fapt, se poate considera că motorul de curent continuu este un motor de curent alternativ polifazat la care colectorul joacă rolul unui convertizor mecanic de frecvență care facilitează trecerea de la frecvența nulă a rețelei de curent continuu la frecvența de rotație a arborelui. Metoda reglării prin frecvență se poate aplica motoarelor asincrone de orice putere, randamentul este bun, stabilitatea reglării bună, sistemele de frînare și reversare a turației sînt simple, există posibilitatea recuperării energiei.

Dezvoltarea rapidă a dispozitivelor semiconductoare de putere, a blocurilor de comandă cu circuite integrate sau microprocesoare a făcut ca motorul asincron să cucerească noi poziții în acționările cu viteză variabilă, conducînd la înlocuirea motoarelor de curent continuu acolo unde folosirea acestora este dificilă sau interzisă, precum și în cazurile în care utilizarea lor a devenit mai costisitoare decît a motoarelor asincrone. Electronica de putere a redus de fapt problema lărgirii domeniului de utilizare a motorului asincron alimentat de un convertizor static de frecvență la o problemă de cost de investiție și eficiență economică.

Sistemele de acționare pot fi împărțite în general în trei mari categorii:

1. Acționările care lucrează la viteză constantă și la care sarcina opune un cuplu rezistent de o anumită formă, dar de valoare constantă pe toată durata ciclului de acționare (mașini de fabricat hîrtie, mașini-unelte așchietoare funcționînd în regim constant de așchiere și viteză, pompe centrifuge și ventilatoare fără reglaj de debit sau presiune etc.).

2. Sistemele de acționare în care reglarea de viteză este indispensabilă procesului tehnologic. În această categorie, care cuprinde o arie largă a proceselor tehnologice din industria chimică, metalurgică, a hîrtiei etc., metodele menționate de reglaj al vitezei sînt utilizate pe larg și se află permanent în atenția specialiștilor, care caută noi căi de perfecționare a acestora. Se pot evidenția cu ușurință ca făcînd parte din această grupă acționările laminoarelor, liniilor de filare din industria firelor și fibrelor sintetice, extruderelor, centrifugelor, mașinilor textile, mașinilor-unelte, agitatoarelor, mașinilor de ridicat etc.

3. În ultima categorie pot fi incluse acționările mașinilor de lucru cu caracteristică de

*) Ioan Désiré Suceveanu și Gheorghe Țăruș sînt ingineri proiectanți principali gr. III la IITPIC.

tip ventilator (pompe centrifuge, suflante, ventilatoare, compresoare etc.) care funcționează la viteză constantă, dar la care, datorită condițiilor impuse de procesul tehnologic, se fac diverse modificări ale regimului de funcționare, prin varierea parametrilor de ieșire. De exemplu, pentru reglajele de debit sau de presiune pe conductele de refulare ale pompelor, ventilatoarelor sau suflantelor, se utilizează clapete, ventile regulatoare, blinduri calibrate, recircularea fluidului respectiv prin întoarcerea unei cantități oarecare din conducta de refulare în rezervor etc. Toate aceste procedee nu fac altceva decît să introducă pierderi suplimentare de sarcină, deși același rezultat s-ar putea obține fără pierderi printr-o variație a vitezei motorului de acționare.

O apreciere sumară asupra cantității de energie pierdută prin utilizarea acestor tipuri de reglaje poate fi dată de numărul foarte mare de acționări de acest tip existente în toate domeniile industriale. Pierderile de energie cresc direct proporțional cu puterile nominale unitare ale mașinilor de lucru respective și cu mărimea gamei de reglaj a parametrului în cauză. În condițiile actuale, ideea de a accepta în mod deliberat pierderi de energie de asemenea proporții este tot mai greu de tolerat.

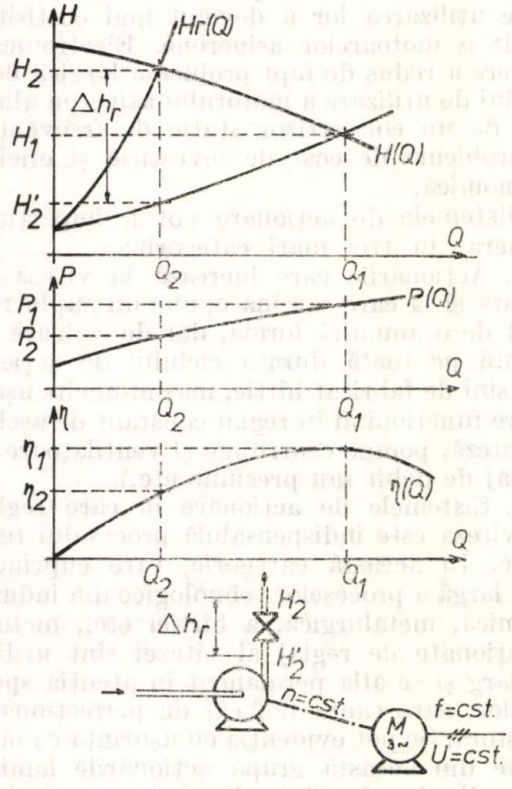


Fig. 1

Pentru a exemplifica, să considerăm cazul pompelor centrifuge. Datorită numărului limitat de sortotip-dimensiuni, pompele sînt construite în serie pentru parametrii Q_n și H_n, care, de regulă, sînt diferiți de parametrii Q și H ceruți în exploatare. Apare deci necesitatea adaptării prin reglare a parametrilor Q_n și H_n la cerințele exploatării. Reglarea se face în majoritatea covîrșitoare a cazurilor prin modificarea caracteristicilor rețelei fie prin vana de refulare, fie prin recirculare. În prima soluție (fig. 1) se modifică pierderile hidraulice locale Δh_r

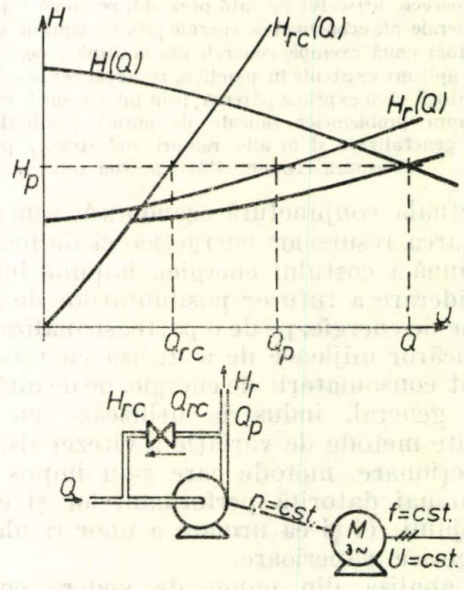


Fig. 2

în vana de refulare, obținîndu-se o variație mare a debitului pompei. Pierderile Δh_r în organul de reglare prin laminare (vana de refulare) corespund unor pierderi energetice și unei scăderi a randamentului instalației de pompare. Aceste pierderi au valori cu atît mai mari cu cît caracteristica $H(Q)$ a pompei este mai înclinată și caracteristica rețelei $H_r(Q_r)$ este mai plată.

A doua soluție presupune aplatisarea caracteristicii rețelei prin recircularea unui debit Q_{rc} (fig. 2), și deci se obține o deplasare a punctului de funcționare a instalației de pompare spre dreapta. Prin urmare, se consumă numai în scopuri de reglare o cantitate de energie electrică în electromotorul de acționare a pompei, energie direct proporțională cu debitul Q_{rc}.

Ambele moduri de reglare pot fi înlocuite cu reglajul vitezei prin frecvență a motorului asincron de acționare a pompei. În această situație (fig. 3), parametrii Q și H ai instalației de pompare, precum și puterea absorbită de electromotorul de acționare variază cu turația conform relațiilor (1), (2) și (3). Reglarea are loc la un randament practic constant, deoarece, așa cum se vede din figura 3, randamentele la cele două debite mult diferite, deci la cele două turații, sînt aproximativ egale. După cum se vede, acest mod de reglare devine

deosebit de avantajos din punct de vedere energetic față de primele două soluții.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1) \qquad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2} \frac{1}{2} \quad (2) \qquad \frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3} \quad (3)$$

Problema se pune în mod identic și în cazul ventilatoarelor ale căror caracteristici de reglare sînt similare celor ale pompelor centrifuge.

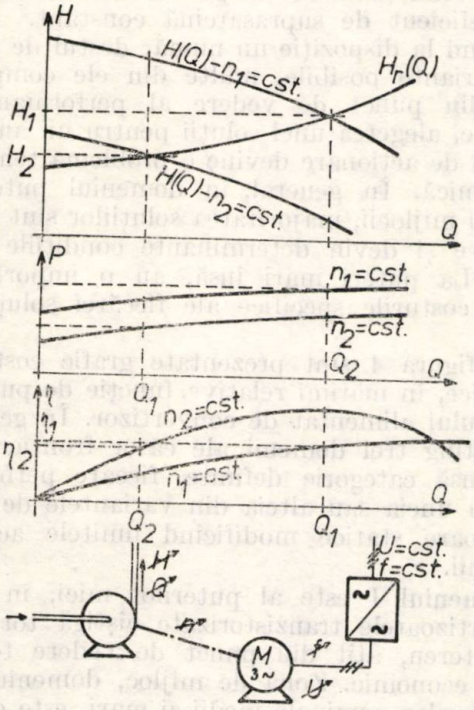


Fig. 3

Pompele de adaos din circuitele de termoficare asigură presiunea în circuit prin compensarea pierderilor de apă din rețea. Deoarece aceste pierderi pot fi mult micșorate printr-o bună gospodărire a rețelei și consumatorilor, pompele de adaos funcționează cu reglare fie cu strangularea puternică a refulării, fie cu recircularea unui debit foarte mare.

Energia electrică consumată de aceste pompe este de circa 30—40 kWh la fiecare 100 Gcal/h livrate în rețea și, prin urmare, adoptarea soluției de reglare prin modificarea turației motorului asincron de acționare a pompei ar conduce la economii de pînă la 50%, rezultînd o economie anuală de 1500—2000 MWh/an la 1 milion Gcal/an livrate în sistemele de termoficare, ceea ce reprezintă cazul unei surse cu o putere instalată totală de circa 500—600 Gcal/h.

La nivelul economiei naționale s-au livrat în cursul anului 1979 circa 40 milioane Gcal/an numai de către centralele industriale de termoficare de putere mică și medie, și deci economia de energie electrică posibilă în aceste centrale prin aplicarea soluției descrise este de circa 60 000—80 000 MWh/an, echivalentul în combustibil convențional de circa 19 000—27 000 tc.c./an economisite.

În aceeași categorie pot fi incluse și numeroasele agitatoare din industria chimică și alimentară, a căror sarcină variază mult în timp funcție de compoziția masei de reacție și de faza reacției chimice din reactor, variație cuprinsă între 0,3 și 0,8 din puterea nominală. Funcționarea are loc deci, în cea mai mare parte din timp, la un randament și factor de putere scăzut, ceea ce majorează indiscutabil pierderile de energie.

Dacă luăm în considerare o instalație oarecare a industriei chimice — în care, de regulă, pompele, ventilatoarele și agitatoarele formează majoritatea consumatorilor de energie electrică — , ne putem da ușor seama de ponderea acestor pierderi în consumul de energie al acestor instalații, de influența defavorabilă pe care acestea o au asupra consumurilor specifice de energie, deci asupra costului produselor respective. De exemplu, pentru o secție chimică cu o putere cerută de circa 1000 kW, se pierd aproximativ 180—220 MWh/an dacă ponderea acestor pierderi este de numai 1,5—2% din puterea instalată totală.

În centralele termoelectrice sau în cele de termoficare de mare putere, o serie de acționări, cum ar fi pompele de alimentare și ventilatoarele de aer și de gaze de ardere ale cazanelor, se fac cu turbine cu abur. La puteri unitare mai mari de 200 kW, acționarea cu turbină este justificată atît din punct de vedere tehnico-economic cît și din cel al siguranței în funcționare, eliminîndu-se posibilitatea opririi acestor consumatori vitali în cazul unei avarii în sistemul de alimentare cu energie electrică.

În centralele de termoficare de tip industrial, puterile unitare necesare pentru acționarea pompelor și ventilatoarelor fiind de pînă la 200 kW, alegerea unor sisteme de acționare cu turbină se face numai din considerente de siguranță în funcționare acolo unde este necesar, în rest fiind utilizat motorul electric asincron.

Datorită variației de sarcină la cazanele energetice, debitele de aer și de gaze de ardere trebuie adaptate continuu la debitul de combustibil. Această reglare se face de regulă prin acționarea unor clape de reglare montate pe refulare, prin aparate directoare montate pe aspirație sau prin modificarea unghiului de ieșire al gazelor din ventilator (eleroane). Toate aceste sisteme conduc la consumuri majorate de energie electrică, prin înrăutățirea cu circa 5—15% a randamentului ventilatoarelor.

Consumul de energie electrică al ventilatoarelor de aer și de gaze de ardere este, la cazanele de abur energetice, de 400—500 kWh la 100 t/h abur. Prin înlocuirea modurilor de reglare menționate cu reglarea prin modificarea turației motorului asincron, se poate obține

o îmbunătățire a randamentului ventilatoarelor, sistemului aer/gaze cu circa 10% în medie și, prin urmare, la o centrală industrială de termoficare, cu debit instalat de 120—150 t/h abur, se pot economisi 400—500 MWh/an la 100 000 t/an abur livrat.

La nivelul economiei naționale, luînd ca bază datele din 1979, se pot economisi în acest mod în centralele industriale de termoficare de putere mică și medie circa 52 000—65 000 MWh/an energie electrică, ceea ce echivalează cu o economie anuală de combustibil convențional de circa 16 000—23 000 tc.c./an.

În cazul centralelor termoelectrice și de termoficare de mare putere, este însă de preferat acționarea cu turbine cu abur. La alegerea sistemului de antrenare în alte cazuri decît acelea ale centralelor termoelectrice, unde aburul de parametri mai mari de 15 at nu este disponibil și unde acționările cu electromotoare sînt singurele de luat în considerare, se va avea în vedere că utilizarea reglajului prin frecvență a turației electromotorului de acționare este cu atît mai eficientă cu cît puterea motorului și gama necesară de reglare sînt mai mari.

Ansamblul convertizor static de frecvență-motor asincron este astăzi mult mai rentabil de a fi utilizat în foarte multe cazuri, obținîndu-se un cîștig dublu: randamente sensibil majorate, inerția extrem de redusă a reglajului, pe de o parte, și automatizare simplă și sigură, pe de altă parte.

Convertizorul static de frecvență cunoaște o perfecționare continuă, fiecare din componentele sale făcînd obiectul a numeroase cercetări, performanțele circuitelor de forță și comandă fiind continuu îmbunătățite, astfel încît astăzi aproape toate tipurile de acționări cu viteză variabilă pot fi echipate cu convertizoare statice asociate cu motoare asincrone sau sincrone. Se extind permanent domeniile de reglaj ale frecvenței de ieșire și cresc performanțele dinamice ale convertizoarelor.

Cicloconvertizoarele, denumite și convertizoare directe, în varianta tranzistorizată se construiesc pentru puteri de pînă la 50 kW, pentru frecvențe cuprinse între 0 și 1500 Hz și cu gama maximă de reglaj de 1 : 1000. În varianta tiristorizată, puterea crește considerabil între 0,1 și 1 MW, fiind construite asemenea convertizoare și pentru puteri de ordinul megawaților, cu gama de reglaj maximă : 1 : 100 și pentru frecvențe de ieșire cuprinse între zero și 0,7 din frecvența nominală a rețelei de alimentare.

Convertizorul cu circuit intermediar de curent continuu, numit și convertizor indirect, se construiește azi pentru puteri unitare de pînă la 800 kW, cu frecvența minimă de ieșire între 1 și 5 Hz, frecvența maximă de ieșire între 100 și 1000 Hz, iar gama de reglaj poate atinge valori între 1 : 20 și 1 : 100.

Frecvența de ieșire este independentă de frecvența rețelei de alimentare și prin variația simultană a frecvenței și a tensiunii de ieșire se poate adapta funcționarea sistemului la caracterul de variație al cuplului rezistent al sarcinii ($M_r = \text{const.}$; $M_r = kn$; $M_r = kn^2$; $M_r = k\frac{1}{n}$; $M_r = k\frac{1}{n^2}$). Se poate de asemenea obține funcționarea la putere constantă sau la coeficient de suprasarcină constant.

Avînd la dispoziție un număr destul de mare de variante posibile, multe din ele comparabile din punct de vedere al performanțelor tehnice, alegerea unei soluții pentru un anumit sistem de acționare devine o problemă tehnico-economică. În general, în domeniul puterilor mici și mijlocii, majoritatea soluțiilor sînt competitive și devin determinante condițiile tehnice. La puteri mari însă, au o importanță mare costurile specifice ale fiecărei soluții în parte.

În figura 4 sînt prezentate grafic costurile specifice, în mărimi relative, funcție de puterea motorului alimentat de convertizor. În general se disting trei domenii, ale căror frontiere nu sînt însă categoric definite, fiecare perfecționare a uneia sau alteia din variantele de convertizoare statice modificînd limitele acestor domenii.

Domeniul I este al puterilor mici, în care convertizoarele tranzistorizate cîștigă tot mai mult teren, atît din punct de vedere tehnic cît și economic. Zona de mijloc, domeniul II, al puterilor nominale medii și mari, este domi-

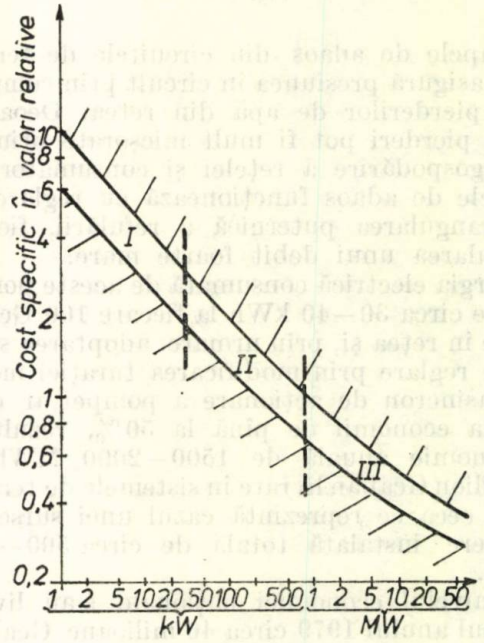


Fig. 4

nată astăzi de convertizoarele indirecte tiristorizate. În domeniul III, al puterilor mari, costul specific al cicloconvertizorului scade

foarte mult, ceea ce impune această soluție, mai ales în domeniul vitezelor mici de rotație.

Prin urmare, printr-o mai largă utilizare a convertizoarelor statice de frecvență, se poate obține eliminarea unei mari părți din pierderile provocate de utilizarea diferitelor reglaje de debit sau presiune (altele decît cele prin variația de viteză), a pierderilor evidențiate la sistemele de agitare, precum și cele inerente acționărilor cu turbină cu abur. În afară de avantajele energetice trebuie menționate și avute în vedere și alte aspecte, cum ar fi:

— pornirea, accelerarea și frînarea controlată a sistemului;

— micșorarea pierderilor în rețele datorate curenților de pornire;

— reglarea automată după program a turației;

— reglarea simultană a turației mai multor motoare;

— recuperarea energiei de frînare a sistemului;

— alegerea punctului optim de funcționare;

— reversibilitatea turației.

Evident că problema aplicării acestei soluții într-un caz sau altul este dominată de eficiența economică ce se poate obține. Amortizarea investițiilor necesare, considerată numai pe baza economiilor de energie ce se pot realiza fără a ține seama de celelalte avantaje, se apreciază de circa 1—5 ani, funcție de puterea convertizorului, performanțele necesare și regimul de lucru al mașinii acționate.

În prezent, convertizoarele statice de frecvență de puteri de pînă la 200 kVA se pot construi în țară fără a apela la importuri. Întreprinderea „Electrotehnica" asimilează în prezent în fabricație seria de convertizoare statice proiectată de IPA pentru puteri cuprinse între 15 și 270 kVA, avînd frecvența de ieșire reglabilă între 5 și 100 Hz, gama de variație a tensiunii de ieșire în domeniul 35—360 V_{ef} între două faze, timp de frînare reglabil între 15 și 45 secunde, timp de accelerare reglabil între 5 și 45 secunde.

Trebuie remarcată însă tendința constructorilor de a realiza convertizoare statice de frecvență cu domenii cît mai largi de variație a frecvenței, cu respectarea legilor de variație a tensiunii cu frecvența în fiecare subdomeniu, aplicabilitatea aceluiași tip de convertizor fiind foarte largă. În mod firesc, realizarea tuturor acestor condiții impune circuite de comandă complexe, coeficientul de utilizare a diverselor componente ale schemei de comandă într-o aplicație anume este redus, iar prețul convertizorului crește sensibil.

Condițiile concrete ale cazurilor enumerate în acest articol nu necesită, în marea majoritate a cazurilor, game atît de largi de variație a frecvenței și nici scheme de comandă deosebit de complexe. Toate acestea conduc la ideea realizării de convertizoare statice de frecvență construite special pentru mașina de lucru acționată de motorul asincron, obținîndu-se astfel o simplificare a schemei de comandă și performanțe optime la un cost mai redus al convertizorului. În mod normal, această sarcină, de a stabili tipurile de convertizoare specializate necesare, performanțele dorite, construirea și experimentarea acestora revine în primul rînd specialiștilor din fiecare domeniu industrial în parte, care sînt primii ce pot aprecia necesitatea și eficiența fiecărei soluții posibile.

Foarte puțin luate în considerare pînă acum, metodele descrise de economisire a energiei, devenită atît de prețioasă astăzi, trebuie atent analizate, iar aplicarea lor pe scară largă va crește pe măsura dezvoltării electronicii de putere și a ieftinirii componentelor electronice. Numai din cele două exemple prezentate ar rezulta o importantă economie de energie în centralele industriale de termoficare de putere mică și medie din țara noastră, de circa 112 000—145 000 MWh/an, sau în tone de combustibil convențional, de circa 35 000—50 000 t c.c./an, valori care permit amortizarea rapidă a cheltuielilor legate de introducerea reglajului de viteză, în special la noile instalații. În prezent sînt create deja premisele aplicării reglajului de viteză prin frecvență în scopul economisirii energiei și nu trebuie neglijate acele cazuri în care această soluție a devenit de pe acum rentabilă din punct de vedere al amortizării investiției prin economiile de energie ce se pot realiza.

Bibliografie

[1] Botan, N. V. *Reglarea vitezei sistemelor de acționare electrică.* Editura tehnică, București, 1974.

[2] Chauprade, R. *La vitesse variable, facteur d'économies d'énergie.* În: RGE 89, nr. 5, 1980, p. 380—382.

[3] Kabish, H. *Möglichkeiten und Grenzen das Einsatzes umrichtergespeister Drehstromantriebe in der Industrie.* În: Elektrie, nr. 2, 1980, p. 59—65.

[4] Pierrat, L. *Pourquoi la fréquence variable par variateurs statiques?* În: RGE 87, nr. 9, 1978, p. 679—685.

[5] Suceveanu, I. D. *Stadiul actual al posibilităților de reglare a vitezei sistemelor de acționare electrică cu motoare asincrone.* Referat 1 — doctorat, Institutul politehnic Iași, 1980.

[6] Suceveanu, I. D. *Acționarea cu viteză variabilă cu motoare asincrone în industria chimică.* Comunicare la Simpozionul „Proiectarea — fază importantă în introducerea tehnologiilor moderne, reducerea consumurilor energetice și de materiale", Iași, 1980.

[7] Suceveanu, I. D. *Contribuții proprii privind perfecționarea unor metode de reglare a vitezei sistemelor de acționare electrică cu motoare asincrone.* Referat 3 — doctorat, Institutul politehnic Iași, 1981.

(Articol intrat în redacție la 6 mai 1981)

Capacitatea de aprindere a prafului de combustibil solid inferior în jeturi turbionate

Ing. L. Mihăescu *)

Construcția de cazane de debite mici și medii, precum și utilizarea unor combustibili solizi pulverizați de calitate foarte redusă necesită realizarea unor arzătoare de praf de combustibil solid de tip turbionar.

Avîndu-se în vedere construcția acestor tipuri de arzătoare, lucrarea prezintă rezultatele unor cercetări asupra capacității de aprindere a prafului de combustibil solid inferior în funcție de elementele constructive și funcționale ale arzătorului.

Cercetările au evidențiat că un combustibil solid nu poate fi caracterizat, din punct de vedere al capacității de aprindere, fără a se lua în considerare interacțiunea de ansamblu a caracteristicilor sale (ca materii volatile, umiditate, conținut de materii minerale, compoziția materiilor minerale) în corelație cu finețea de măcinare, geometria curgerii și fluxul de căldură recepționat de norul de particule în faza de încălzire.

1. Caracteristicile jeturilor turbionate specifice arzătoarelor de combustibil solid pulverizat

Un jet turbionat cuprinde o dublă curgere axială: una (cea periferică) în sensul admisiei fluidului de lucru, și alta (cea centrală), în sens contrar (negativ), spre gura arzătorului, așa cum arată spectrul de viteze din figura 1 [1].

Zona de recirculare internă prezintă un mare avantaj pentru ardere, deoarece circulația de gaze de ardere fierbinți din nucleul flăcării spre secțiunea de ieșire a arzătorului mărește capacitatea de aprindere, și implicit și stabilitatea flăcării. În figura 2 se prezintă influența gradului de turbionare, caracterizat prin parametrul S al turbionului, asupra mărimii zonei de recirculare [2].

Parametrul S al turbionului este definit de relația:

$$S = \frac{M}{K \cdot R}, \qquad (1)$$

unde K este fluxul de fluid în direcție radială, M — fluxul în direcție axială, iar R — raza secțiunii de ieșire a arzătorului, mărimi definite prin relațiile (2) și (3).

Spectrul vitezelor axiale, așa cum se prezintă în figura 1, depinde nu numai de gradul de turbionare, ci și de geometria ambrazurii de evacuare, fiind însă influențat și de sistemul

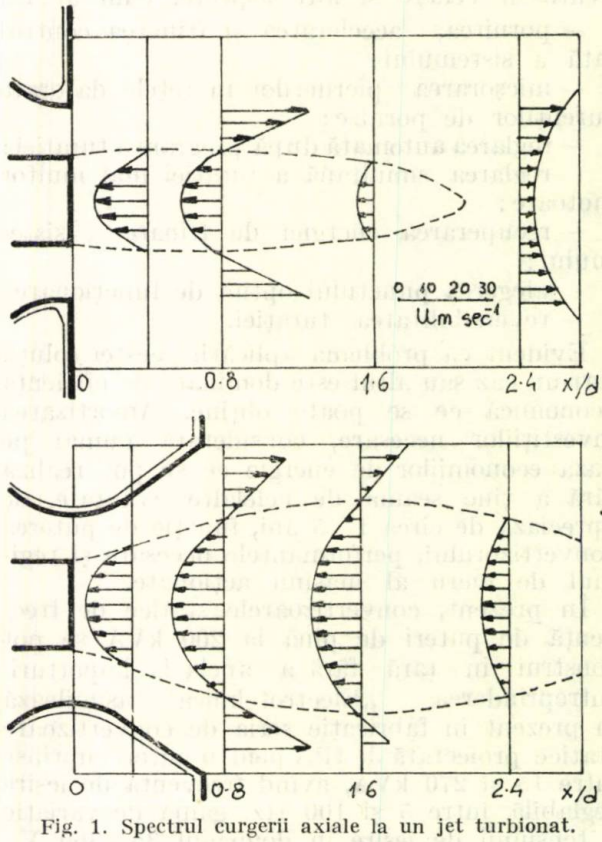


Fig. 1. Spectrul curgerii axiale la un jet turbionat.

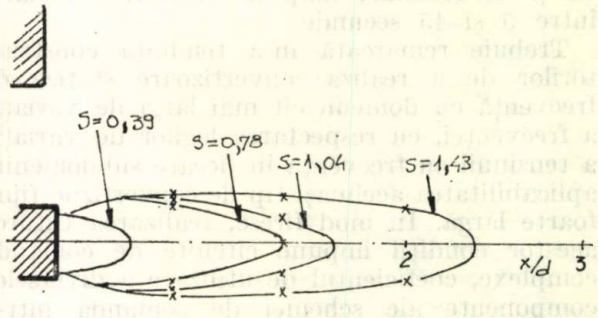


Fig. 2. Variația zonei de recirculare internă în funcție de parametrul turbionării, S.

de generare a mișcării rotaționale, conform datelor din [1], [3], [4], [5].

Viteza tangențială w cunoaște o distribuție liniară în zona centrală (zona nucleului cvasi-

*) Ing. Lucian Mihăescu este șef de lucrări la Catedra de cazane și turbine, Institutul politehnic București.

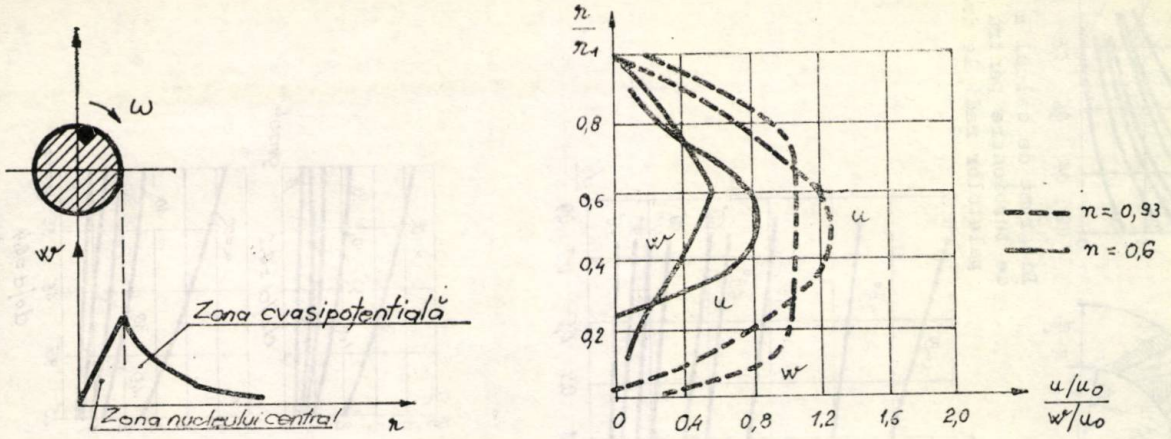


Fig. 3. Variația radială a vitezei tangențiale
a — situația ideală; *b* — rezultatele experimentale.

solid), în care $w = r\omega$, și o distribuție hiperbolică în exterior, în care $w = \frac{\Gamma}{2\pi r}$ (Γ fiind circulația vitezei pe o curbă a conturului turbionului), așa cum se arată în figura 3. Cu r_1 s-a notat raza conturului exterior al jetului turbionat, u_0 fiind viteza axială în secțiunea de ieșire a arzătorului.

În figura 4 se prezintă o clasificare a sistemelor de producere a mișcării de rotație, uzual întîlnite la construcția arzătoarelor, cu indicarea unor caracteristici ale jeturilor turbionare obținute.

Gradul de turbionare poate fi definit prin parametrul S al turbionului (prezentat anterior), fluxul de fluid în direcția radială și axială putînd fi calculat cu relațiile:

$$M = 2\pi\rho \int_0^R r^2 u\, w\, \mathrm{d}r \tag{2}$$

$$K = 2\pi \int_0^R r(\rho u^2 + P)\mathrm{d}r \tag{3}$$

ρ fiind densitatea fluidului, u viteza axială, w viteza tangențială, r raza curentă, iar P presiunea statică, sau prin gradul de turbionare n_p și n:

$$n_p = \frac{w_m}{u_m} \tag{4}$$

$$n = \frac{w}{u} \tag{5}$$

u_m și w_m fiind viteza axială și tangențială maximă.

Trecerea de la parametrul turbionării S la gradul de turbionare n_p se poate face cu ajutorul relațiilor:

$$\begin{cases} S = \dfrac{\dfrac{n_p}{2}}{1 - \left(\dfrac{n_p}{2}\right)^2} & \text{pentru } n_p < 0{,}4 \\ S = \dfrac{\dfrac{n_p}{2}}{1 - \dfrac{n_p}{2}} & \text{pentru } n_p > 0{,}4 \end{cases} \tag{6}$$

sau cu ajutorul graficelor din figura 5 [3].

De o importanță deosebită pentru caracteristica aerodinamică a jeturilor rotaționale este geometria ambrazurii de ieșire, cercetările recomandînd rezultatele pentru cazul evazării secțiunii de ieșire (fig. 6).

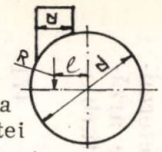
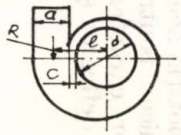
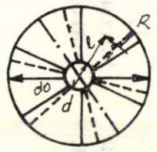
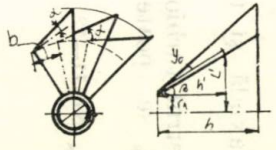
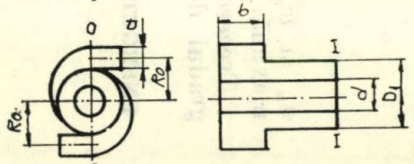
Curbele din figura 7 pun în evidență influența reducerii secțiunii de ieșire de la diametrul d, la diametrul d_K, asupra unghiului φ de evazare al jetului, și a uniformității curgerii $\varepsilon\left(\varepsilon = \dfrac{w_{max} - w_{min}}{w_{med}} \cdot 100\right)$.

În figura 8 se arată influența unghiului de evazare al ajutajului de evacuare asupra profilului vitezei axiale u, față de viteza din secțiunea de ieșire w_a, la o turbionare produsă cu palete axiale de tip B [3].

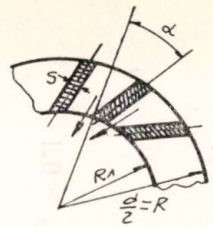
O influență asupra curgerii o are și mărimea lancei centrale de insuflare a prafului de combustibil, la arzătoarele specifice acestei construcții. Influența lancei se impune pentru diametre d_0 mai mari decît jumătatea diametrului secțiunii de evacuare $d(d_0 > 0{,}5\ d)$, așa cum evidențiază curbele din figura 9 [3].

Cea mai mare influență asupra curgerii o are însă prezența conului deflector, alături de mărimea, construcția și poziția acestuia.

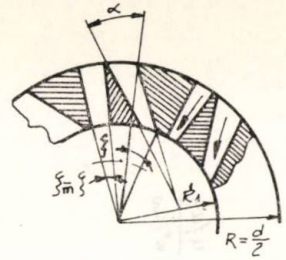
Experimentări izotermice pentru determinarea profilului vitezelor caracteristice arzătoarelor echipate cu con deflector și cu turbio-

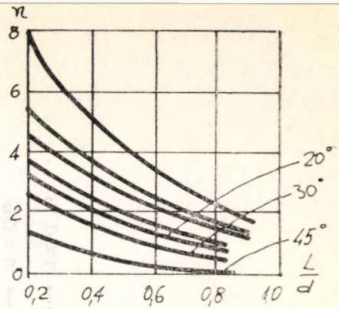
	M K	$\frac{nuwR^2\ell\rho}{np\cdot u^2R^2}$	bătaia jetului
a. Carcasă tip T  ℓ - Lăţimea conductei de alimentare	$\frac{w}{u}$ n_p	$R-\frac{a}{2}$ $\frac{\pi d^2}{4ab}$ $\frac{d(d-a)}{ab}$	$\frac{L}{d}=\left(\frac{200}{np}\right)^{0,24}$
b. Carcasă tip Y 	ℓ $\frac{w}{u}$ n_p	$R+\frac{a}{2}+c$ $\frac{\pi d^2}{4ab}$ $\frac{d(d+a+2a)}{ab}$	$1\leqslant n\leqslant 3$ $\frac{L}{d}=\frac{4,45-np}{0,57}$
c. Palete radiale 	ℓ w/u	$R\cos\alpha$ $\frac{\pi d^2}{4\ell m\varepsilon}$ L-lăţimea paletelor m-numărul paletelor e-cea mai mică distanţă dintre palete	$0,69\leqslant n\leqslant 4,07$ $\frac{L}{d}=\left(\frac{195}{np}\right)^{0,26}$
d. Palete axiale tip A 	ℓ w/u n_p	$\frac{1}{3}\frac{d^2-d_0^2}{d^2-d_0^2}$ $tg\alpha\cdot\frac{d^2}{d^2-d_0^2}$ $\frac{8}{3\pi}d\frac{d^2-d_0^2}{(d^2-d_0^2)^2}tg\alpha$	$\frac{L}{d}\approx\left(\frac{11}{np}\right)^{0,66}$
e. Palete axiale tip B 	ℓ w/u n_p	$\left[r_1+\frac{a+2b}{3(a+b)}h\,tg\beta\right]\cos\alpha$ $\frac{\pi d^2}{2mh(a+b)\sin(\alpha+\frac{\chi}{m})}$ $a=\frac{\pi d_1}{m}$; $b=\frac{\pi d}{m}$ $h=\frac{d-d_1}{2tg\beta}$ $\frac{8}{3\pi}d\frac{d^3-d_1^3}{(d^2-d_1^2)^2}\chi$ $\chi\frac{\cos\alpha\sin\beta}{\sin(\alpha+\frac{\pi}{m})}$	$\frac{L}{d}=\left(\frac{13}{n}\right)^{0,5}$ $\frac{d_1}{d}=0,35$
f. Dispozitiv cu admisie secantă 	$tg\alpha=\frac{\Sigma f}{2\pi R_0R_1\left(1-\frac{d}{D_1}\right)}$ $tg\alpha$ - unghiul de răsucire al jetului Σf - aria secţiunii de admisie		

Palete radiale drepte



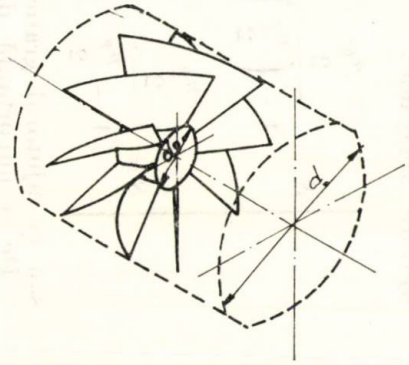
Palete radiale trapezoidale

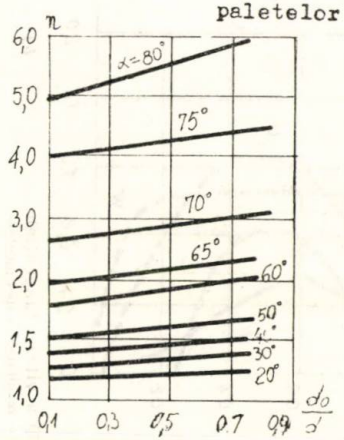




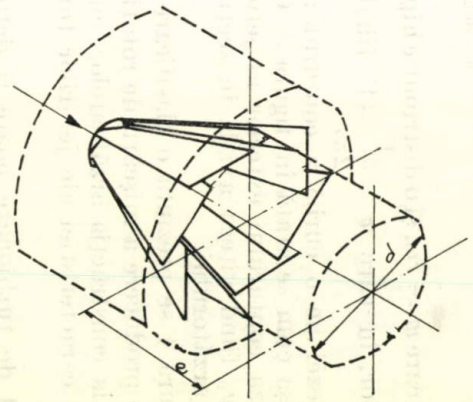
Diagramă de calcul a gradului de turbionare pentru cazul paletelor radiale drepte

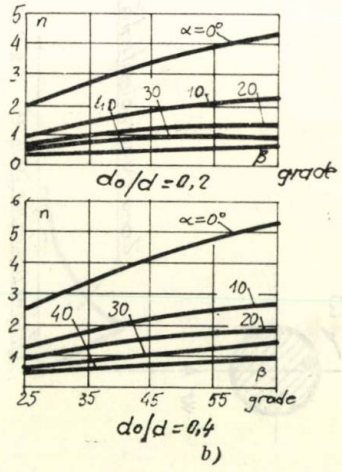
Palete axiale tip A





Palete axiale tip B





b)

Fig. 4. Principalele elemente de generare a mişcării turbionare utilizate la construcţia arzătoarelor turbionare

a — principiile constructive şi principalele caracteristici funcţionale; b — detalii constructive şi metode grafice de calcul al gradului de turbionare.

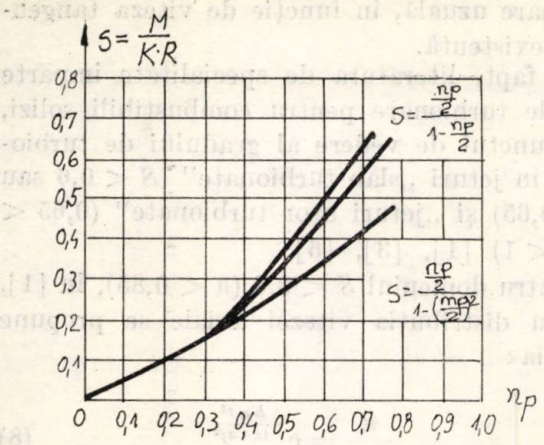


Fig. 5. Nomogramă pentru transformarea gradului de turbionare n_p în parametrul turbionării, S.

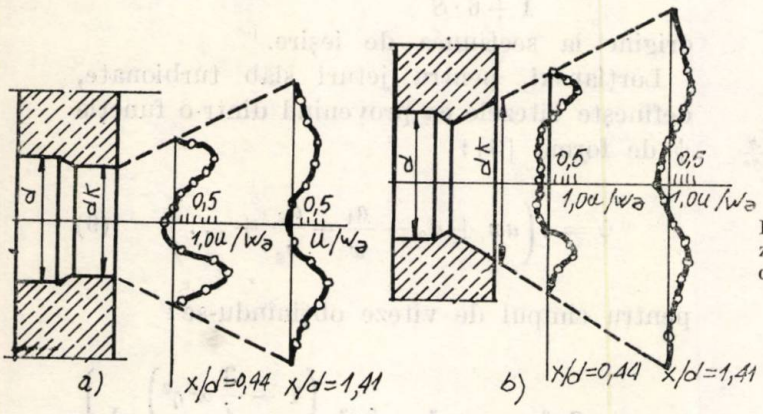


Fig. 6. Influența geometriei ambrazurii asupra aerodinamicii jetului turbionat
w_a — viteza în secțiunea de ieșire.

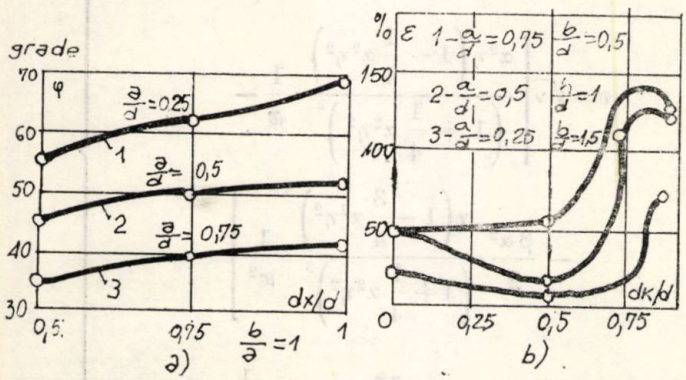


Fig. 7. Influența îngustării ambrazurii de ieșire asupra unghiului φ de evazare a jetului turbionat și asupra uniformității curgerii (dispozitiv de turbionare cu carcasă de tip T).

nare numai a aerului secundar exterior (jetul central, compus din agent primar și praf de combustibil, fiind neturbionat) au evidențiat o distribuție a vitezei axiale și tangențiale de forma :

$$u, w = f\left(\frac{x_c}{d},\ \frac{y}{d},\ \frac{x}{d},\ \alpha_c\right), \qquad (7)$$

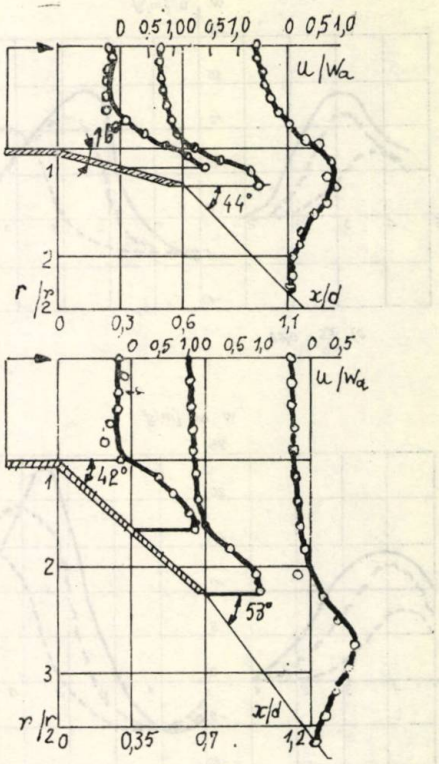


Fig. 8. Profilul vitezei axiale în funcție de unghiul de evazare al ajutajului de evacuare pentru o turbionare produsă de un dispozitiv cu palete axiale de tip B ($\alpha = 20°$, $\beta = 45°$).
w_a — viteza în secțiunea de ieșire.

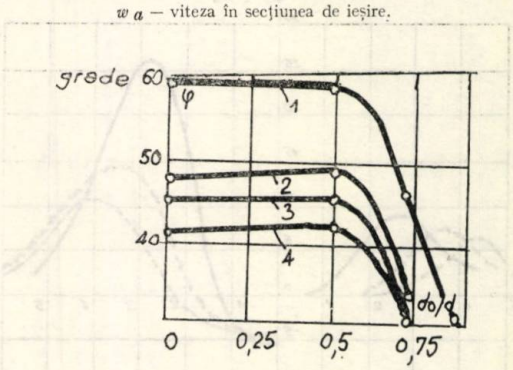


Fig. 9. Influența mărimii lancei centrale asupra evazării jetului turbionat.

unde x_c este poziția conului deflector față de secțiunea de ieșire de diametru d; x, y — coordonata axială și, respectiv, radială, α_c — unghiul de atac al conului deflector.

În figura 10 se arată distribuția vitezei axiale și tangențiale pentru un con cu unghiul de atac $\alpha_c = 30°$, la o poziție a acestuia $\frac{x_c}{d} = 0{,}62$; 0,23 și 0,09.

Experiențele cu conuri cu unghiul de atac de peste 60° au arătat o curgere necorespunzătoare, caracterizată atît prin creșterea foarte pronunțată a coeficientului ε de neuniformitate a curgerii, cît și printr-o evazare prea mare a jetului rezultant [5], [6].

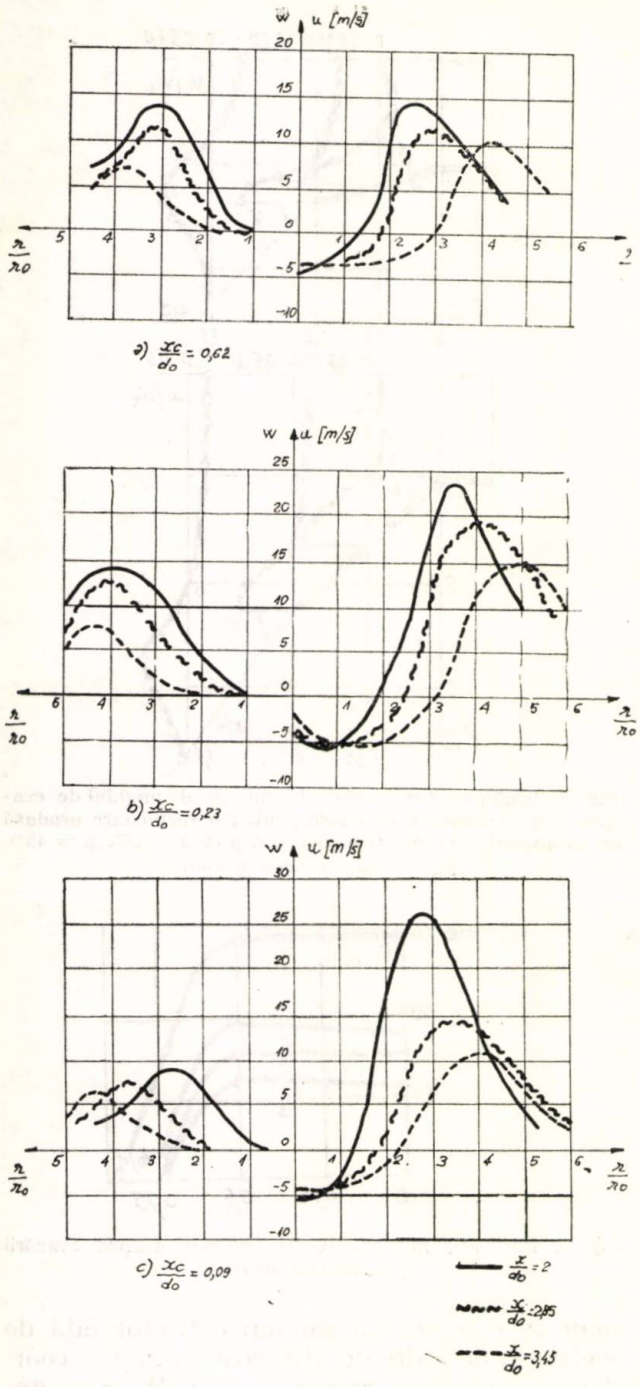


Fig. 10. Variația vitezei axiale și tangențiale pentru un grad de turbionare $n = 0{,}6$ și un con deflector cu unghiul de evazare $\alpha_c = 30°$.

Din cauza prezenței particulelor solide, turbionarea trebuie menținută în limite destul de scăzute ($n < 1$), pentru a se evita părăsirea jetului de către particule în faza de aprindere sau într-o fază incipientă a procesului de ardere, acestea nemaiputînd beneficia de aportul gazelor calde recirculate în nucleul jetului. În [5] se stabilește timpul de separare a particulelor de combustibil solid pentru o finețe de măcinare uzuală, în funcție de viteza tangențială existentă.

De fapt, literatura de specialitate împarte jeturile turbionare pentru combustibili solizi, din punctul de vedere al gradului de turbionare, în jeturi „slab turbionate" ($S < 0{,}6$ sau $n < 0{,}65$) și „jeturi ușor turbionate" ($0{,}65 < n < 1$) [1], [3], [6].

Pentru domeniul $S < 0{,}6$ ($n < 0{,}85$), în [1], pentru distribuția vitezei axiale se propune ecuația:

$$\frac{u}{u_m} = e^{-\frac{K_u r^2}{(x+a)^2}} \tag{8}$$

unde $K_u = \dfrac{92}{1+6\cdot S}$, a fiind distanța de la origine la secțiunea de ieșire.

Lorțianski, pentru jeturi slab turbionate, definește vitezele ca provenind dintr-o funcție ψ de forma [3]:

$$\psi = \nu\left(ax + a_0 + \frac{a_1}{x} + \frac{a_2}{x_2} + \dots\right) \tag{9}$$

pentru cîmpul de viteze obținîndu-se:

$$\left.\begin{aligned} u &= \frac{2\alpha^2}{\left(1+\frac{1}{4}\alpha^2\eta^2\right)^2}\cdot\frac{1}{x} - \frac{\beta\alpha^2}{2}\cdot\frac{\left(1-\frac{3}{4}\alpha^2\eta^2\right)}{\left(1+\frac{1}{4}\alpha^2\eta^2\right)^3}\cdot\frac{1}{x^2} \\ v &= \sqrt{\nu}\left[\frac{\alpha^2\eta\left(1-\frac{1}{4}\alpha^2\eta^2\right)}{\left(1+\frac{1}{4}\alpha^2\eta^2\right)^2}\cdot\frac{1}{x} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{\beta\alpha^2}{2}\cdot\frac{\eta\left(1-\frac{3}{4}\alpha^2\eta^2\right)}{\left(1+\frac{1}{4}\alpha^2\eta^2\right)^3}\cdot\frac{1}{x^2}\right] \\ w &= \gamma\frac{\alpha\eta}{\left(1+\frac{1}{4}\alpha^2\eta^2\right)^2}\cdot\frac{1}{x^2} \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

unde $\alpha = \left(\dfrac{3K}{16\,\pi\mu}\right)^{\frac{1}{2}}$; $\gamma = \dfrac{3\alpha M}{16\,\pi\mu\sqrt{\nu}}$; $\beta = \dfrac{Q_0}{2\pi\mu}$, $\eta = \dfrac{r}{x\sqrt{\nu}}$, Q_0 fiind debitul în secțiunea de ieșire.

Analizînd expresiile analitice ale celor trei viteze, se remarcă inexistenţa vitezei negative caracteristică zonei depresionare centrale şi faptul că viteza tangenţială, care este proporţională cu x^{-2}, se atenuează mai rapid decît cea axială şi radială, proporţională cu x^{-1}. În continuare, în lucrare se demonstrează atenuarea presiunilor statice proporţional cu x^{-4}.

Alte modele matematice, specifice jeturilor uşor turbionate, folosesc analogia cu ecuaţia termoconductibilităţii, obţinîndu-se ecuaţia curgerii [3]:

$$\frac{\partial}{\partial x} u^2 = \Lambda(x) \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} u^2 \right), \qquad (11)$$

în care termenul de analogie $\Lambda(x)$ se defineşte prin relaţia:

$$\Lambda(x) = \frac{\overline{uv}}{\overline{\frac{\partial \bar{u}}{\partial r}}} \qquad (12)$$

Ecuaţia (11) nu poate fi rezolvată decît prin liniarizarea ei, obţinută prin schimbarea de variabilă $\xi = \xi(x, y)$; $\eta = \eta(x, y)$, sau pentru o simplificare în limite acceptabile $\xi = \xi(x)$, $\eta = (y)$, metoda rămînînd totuşi complicată, deoarece necesită rezolvarea unei ecuaţii diferenţiale specifice fiecărui caz în parte [3].

Introducerea unui model matematic ce transcrie ecuaţia termoconductibilităţii în funcţie de presiunea totală $H(H = P + \rho u^2)$ are avantajul transformării jetului cu circulaţie centrală inversă în jet izobaric $\left(\int_0^\infty H \cdot r \cdot dr = \text{ct.}\right)$ şi, cu toate că aparent complică ecuaţiile diferenţiale, prezintă şi avantajul determinării parametrilor jetului în funcţie de expresia unor funcţii tabelate [3], [7].

În [8] se prezintă un model matematic pentru calculul vitezei axiale cu luarea în consideraţie a recirculaţiei interne, în funcţie de condiţiile la limită, pentru expresia vitezei axiale obţinîndu-se:

$$u = \frac{u_{a,e} \frac{r_1}{r} \left[\left(u_{a,0} + u_{a,e} \frac{r_1}{r_e} \right) \left(\frac{r}{r_e} \right)^\alpha - u_{a,0} \right]}{u_{a,e} \frac{r_1}{r} - u_{a,e} + \left(u_{a,0} + u_{a,e} \frac{r_1}{r} \right) \left(\frac{r}{r_e} \right)^\alpha} \qquad (13)$$

unde $\alpha = f(n)$, mărimile celelalte fiind definite în figura 11.

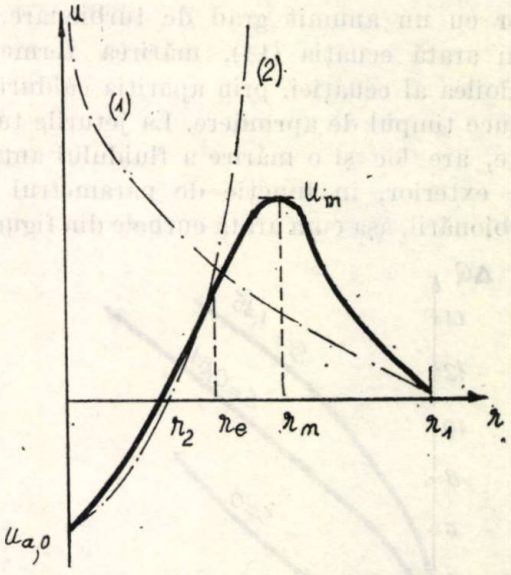


Fig. 11. Elementele ce definesc profilul vitezei axiale u, la un jet cu recirculare în zona centrală

$1 - u_1 = \frac{c_1}{r}$; $2 - u_2 = -c_2 + c_r \cdot r^\alpha$.

2. Factorii de care depinde aprinderea prafului de combustibil solid într-un jet turbionat

Aprinderea unui nor de particule depinde de bilanţul termic în zona de ieşire a jetului, bilanţ ce determină mărimea timpului de acroşare a flăcării. Ecuaţia bilanţului termic va fi [9] (semnul fiecărui termen, în funcţie de căldura cedată sau preluată, ducînd la adunarea sau scăderea acestora):

$$I = V + S_1 + S_2 + L + K + Z_L + R_G + R_I, \qquad (14)$$

în care

I este căldura internă a amestecului praf-aer;
V — căldura cedată în urma reacţiei de ardere;
S_1 — căldura schimbată prin radiaţie cu mediul;
S_2 — căldura recepţionată de la frontul flăcării;
L — căldura schimbată prin conductibilitate;
K — căldura schimbată prin convecţie;
Z_L — căldura transmisă cu aerul secundar;
R_G — căldura adusă de gaze calde recirculate din exteriorul jetului;
R_I — căldura adusă de gazele calde recirculate intern.

Jeturile neturbionate nu au termenul R_I, recirculaţia internă fiind specifică numai jeturilor cu un anumit grad de turbionare. Aşa cum arată ecuaţia (14), mărirea termenului al doilea al ecuaţiei, prin apariţia căldurii R_I, reduce timpul de aprindere. La jeturile turbionate, are loc şi o mărire a fluidului antrenat din exterior, în funcţie de parametrul S al turbionării, aşa cum arată curbele din figura 12.

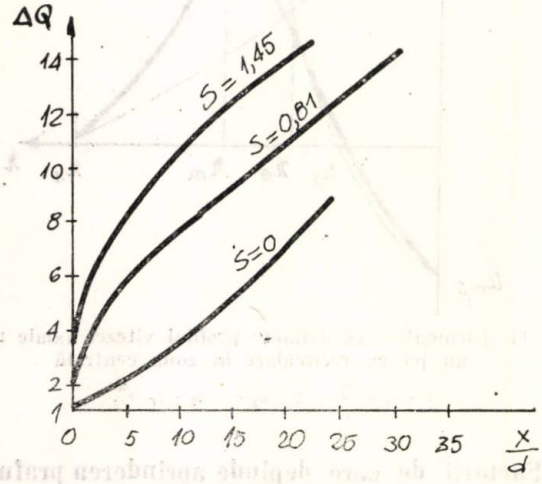


Fig. 12. Debitul de fluid antrenat de un jet turbionat în funcţie de gradul de turbionare şi de coordonata axială $x(\Delta Q = Q_{ant}/Q_0)$.

La aprinderea şi arderea combustibililor solizi, o importanţă mare au şi concentraţia fazei solide, fineţea de măcinare, precum şi calitatea amestecării prafului combustibil cu aerul secundar şi prezenţa gazelor arse recirculate, fenomenele legate de aerodinamica curgerii fiind îmbunătăţite pentru jeturile turbionate [10].

Diagrama din figura 13 prezintă cantitatea de fluid recirculat intern în funcţie de gradul de turbionare n, pentru un jet simplu turbionat.

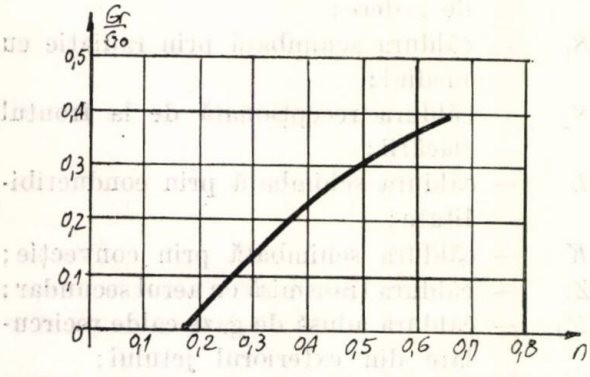


Fig. 13. Debitul de fluid recirculat intern G_r faţă de debitul iniţial G_0, în funcţie de gradul de turbionare n, pentru un sistem de palete radiale.

Diagrama pune în evidenţă inexistenţa recirculaţiei interne la grade mici de turbionare [8].

Fineţea de măcinare influenţează atît timpul de aprindere, cît şi cel de ardere al materiilor volatile şi al reziduului carbonos, după [11], timpul total de ardere fiind:

$$\tau_a = K_p \cdot d^r + K_v\, d^2 + K_c\, d^2 \qquad (15)$$

în care

$K_p d^r$ este timpul de aprindere al particulei de diametru d (K_p şi r fiind constante ce depind de natura combustibilului);

$K_v \cdot d^2$ — timpul de ardere a materiilor volatile;

$K_c \cdot d^2$ — timpul de ardere a reziduului carbonos;

K_v şi K_c — constante de degajare a volatilelor şi, respectiv, de ardere a reziduului carbonos, ce depind de asemenea de natura combustibilului.

Datele experimentale prezentate în [12], pentru arderea unui nor polidispers, arată însă o suprapunere a celor trei timpi (15—20% din materiile volatile arzînd cu baza de cocs), resturi de materii volatile fiind prezente şi la finele flăcării. Acest fapt se datorează particulelor grosiere, iar această degajare lentă în timp pe ansamblul norului de materii volatile, care prin aportul lor caloric ajută arderii masei carbonice, va întîrzia aprinderea norului polidispers în ansamblu.

În [13] se prezintă o imagine mai exactă a fenomenului de aprindere şi ardere a volatilelor. Astfel, se arată că la aprindere volatilele ard pe suprafaţa particulei, ducînd la creşterea temperaturii gazelor de ardere ce înconjură particula de combustibil, ca apoi, datorită creşterii fluxului de degajare a materiilor volatile, frontul de flacără să se desprindă de pe suprafaţa particulei la o rază r_f, iar în final să revină pe suprafaţa particulei (ca urmare a scăderii fluxului de volatile). Condiţia de aprindere în modelul matematic considerat a fost ca raportul dintre concentraţia materiilor volatile C_v şi a oxigenului C_o să fie egal cu coeficientul stoechiometric $\left(\beta = \frac{C_v}{C_o}\right)$ şi ca temperatura să fie cel puţin egală cu cea de aprindere.

Ecuația frontului de flacără al volatilelor este dată de relația:

$$D_v \frac{dC_v}{dr}\bigg|_{r=r_f} = \beta D \frac{dC_o}{dr}\bigg|_{r=r_f} \quad (16)$$

unde r este coordonata radială, D_v și D coeficientul de difuzie a materiilor volatile și respectiv a oxigenului. În urma rezolvării a rezultat:

$$r_f = 2\tau DM\left[1 - \sqrt{1 - \frac{1}{\tau DM^2}}\right] \quad (17)$$

unde $M = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\pi}{D\tau} + \frac{3DC_o^*}{ar_0^3\gamma_c q_v}}$, τ fiind timpul, C_o^* concentrația oxigenului la suprafața particulei, r_0 — raza inițială a particulei, γ_c — greutatea specifică a particulei, q_v — fluxul de materii volatile, a — coeficientul de difuzivitate termică. Se remarcă dependența razei frontului flăcării volatilelor de timp [$r_f = f(\tau)$]. În perioada arderii volatilelor la o distanță mai mare decît raza particulei, se dirijează căldura spre mediul gazos, astfel că se frînează încălzirea masei carbonice, ce va primi căldura în continuare de la gazele de ardere prin convecție, conducție și radiație.

În lucrarea de față se prezintă un model matematic de ardere a particulelor de combustibil solid ținînd seama și de prezența gazelor de ardere recirculate (de la finele focarului în cazul arderii ligniților umezi în scopul uscării, sau și de la finele cazanului în cazul ligniților ce prezintă fenomenul de zgurificare, recirculare utilizată și în cazul șistului bituminos, pentru a se asigura debitul de transport în cadrul sistemului de măcinare) și de cîmpul de temperaturi din focar. Graficele din figurile 14 și 15 arată influența mare a gradului de recirculare a gazelor de ardere r^* asupra vitezei degajării și arderii materiilor volatile și, respectiv, influența temperaturii asupra timpului de degajare și ardere a acestora.

În [14] se studiază lungimea flăcării prafului de combustibil solid în funcție de conținutul de materii volatile, pentru diverse grade de turbionare. Pentru o distribuție a vitezei axiale u_m față de cea din secțiunea de ieșire a arzătorului u_0 (echivalentă dacă sînt mai multe jeturi concentrice), dată de relația:

$$\frac{u_0}{u_m} = K_u \frac{x_c}{D_c} + C, \quad (18)$$

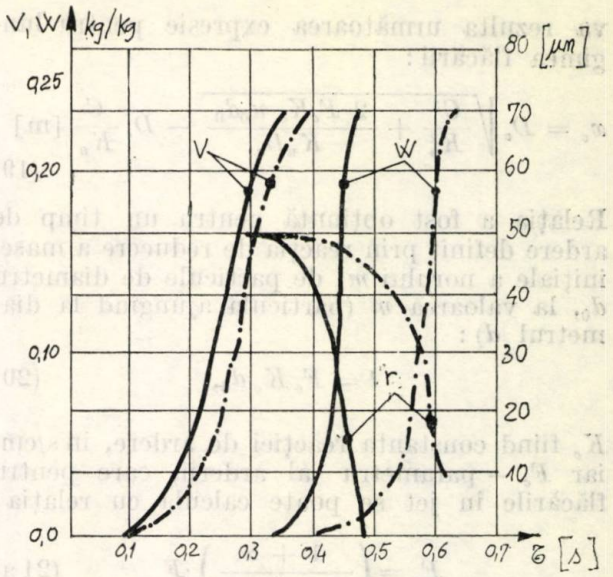


Fig. 14. Influența gradului de recirculare r (— $r^* = 0$; —.—.— $r^* = 0{,}2$) asupra degajării V a materiilor volatile, vitezei de ardere W a acestora și a reducerii razei particulei r (pentru o particulă cu raza inițială de 50 μm aflată într-o zonă cu temperatura de 1273 K) [13].

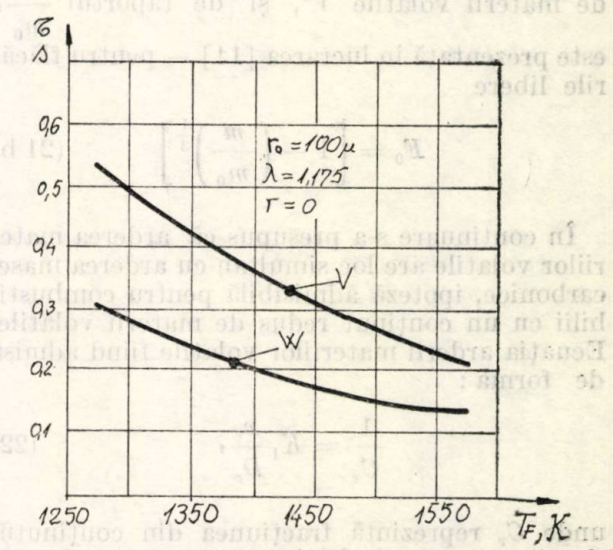


Fig. 15. Influența temperaturii din focar asupra timpului de degajare a materiilor volatile V și asupra timpului de ardere a acestora W [13].

unde

K_u este un factor ce depinde de parametrul turbionării S ($K_u = 0{,}147 + S^2$);

D_c — diametrul echivalent al duzei arzătorului;

C — un coeficient ce caracterizează interacțiunea jetului primar cu cel secundar:

$$C = 0{,}147\left(\frac{4\lambda - 0{,}28}{0{,}187 + \lambda}\right),$$

λ fiind raportul dintre viteza curentului secundar și cel primar,

va rezulta următoarea expresie pentru lungimea flăcării:

$$x_c = D_c \sqrt{\frac{C^2}{K_u^2} + \frac{2\,F_c K_c\,u_0 d_0}{K_u D_c}} - D_c \frac{C}{K_u} \text{ [m]} \tag{19}$$

Relaţia a fost obţinută pentru un timp de ardere definit prin reacţia de reducere a masei iniţiale a norului m_0 de particule de diametru d_0, la valoarea m (particula ajungînd la diametrul d):

$$t = F_c\,K_c\,d_0, \tag{20}$$

K_c fiind constanta reacţiei de ardere, în s/cm, iar F_c — parametru al arderii, care pentru flăcările în jet se poate calcula cu relaţia:

$$F_c = \left(\frac{1+\alpha}{1+\alpha-V^i}\right)\cdot F \tag{21 a}$$

Valoarea expresiei F ce depinde de asemenea de excesul de aer în procente α, de conţinutul de materii volatile V^i, şi de raportul $\frac{m}{m_0}$, este prezentată în lucrarea [14] — pentru flăcările libere

$$F_0 = \left[1 - \left(\frac{m}{m_0}\right)^{\frac{1}{3}}\right] \tag{21 b}$$

În continuare s-a presupus că arderea materiilor volatile are loc simultan cu arderea masei carbonice, ipoteză admisibilă pentru combustibilii cu un conţinut redus de materii volatile. Ecuaţia arderii materiilor volatile fiind admisă de forma:

$$\frac{1}{C_v} = K_1 \frac{x_v}{D_c}, \tag{22}$$

unde C_v reprezintă fracţiunea din conţinutul de materii volatile V^i în amestec stoechiometric cu aerul, K_1 — constantă de ardere a materiilor volatile, iar x_v — lungimea de ardere a materiilor volatile. Înlocuind valorile lui C_v şi K_1, în final s-a obţinut:

$$x_v = \frac{9 \cdot D_c \cdot V^i}{(0{,}32 + 0{,}8 \cdot S)\,(V^i + A_p)} \tag{23}$$

A_p fiind raportul dintre masa de aer primar şi cea de combustibil solid.

Expresiile analitice obţinute, verificate de o serie de experimentări, prezintă avantajul punerii în evidenţă a interacţiunii fenomenelor legate de aerodinamica curgerii cu caracteristicile combustibilului (conţinut de materii volatile şi fineţe de măcinare) şi cu excesul de aer şi proporţia de aer primar — aer total de ardere.

Astfel, se menţionează că o reducere cu 30% a conţinutului de materii volatile lungeşte flacăra cu circa 0,70. Arderea antracitului pînă la o valoare în limitele 2—10% a nearselor la finele flăcării poate fi scurtată cu circa 1/3 dacă se utilizează o turbionare optimă ($S \simeq 1$) şi o turbulenţă maximă a flăcării (ce se obţine după datele lui Beér pentru un unghi de evazare a ajutajului arzătorului $\alpha = 20°$).

Analizînd relaţiile analitice prezentate, rezultă că o reducere a necesarului de aer primar la arderea combustibililor săraci în materii volatile duce la reducerea lungimii flăcării.

La arderea combustibililor solizi cu un conţinut de materii volatile ridicat, se remarcă abateri de la proporţionalitatea vitezei de aprindere cu conţinutul de materii volatile (la puterea 1,5 după datele din [15]), datorită vitezei mai mari de interacţiune cu oxigenul a acestora, lăsînd astfel masa carbonică fără mediu oxidant, fenomen ce măreşte în final timpul de aprindere. Deficienţa de oxigen în faza finală de ardere a materiilor volatile duce şi la cracări, la creşterea deci a gradului de negreală a flăcării în zona ei iniţială (de ardere a volatilelor), la un schimb de căldură mai intens şi în final la scăderea încălzirii particulelor în faza iniţială.

Porozitatea particulelor, prin oxigenul inclus în reţeaua de pori, permite şi o aprindere interioară, ducînd în final la reducerea timpului de amorsare a flăcării.

În cursul acestui capitol s-a căutat să se scoată în evidenţă importanţa mare a fineţii de măcinare şi a temperaturii asupra timpului de acroşare a flăcării, în detrimentul proporţionalităţii cu conţinutul total de materii volatile din combustibil, cum ar părea la prima vedere. Proporţia aer primar — aer secundar, cu o mare influenţă asupra temperaturilor în zona iniţială a flăcării, este de asemenea foarte importantă.

Toate aceste aspecte, corelate cu efectul de recirculare internă a gazelor de ardere fierbinţi, în funcţie de gradul de turbionare a flăcării, dau imaginea fenomenelor din faza iniţială de aprindere a norului de particule de combustibil solid pulverizat.

3. Instalaţia experimentală utilizată

Experimentările s-au efectuat pe focarul pentru arderea combustibilului solid pulverizat, de la Catedra de cazane şi turbine din cadrul Institutului politehnic Bucureşti. Focarul, a cărui schiţă este prezentată în figura 16, este echipat cu o instalaţie de preparare a prafului de combustibil cu insuflare directă, cu moară-ventilator şi turn de preuscare (debitul nominal al morii fiind de 200 kg/h pentru măcinarea unui lignit cu o putere calorică inferioară de 1750 kcal/kg).

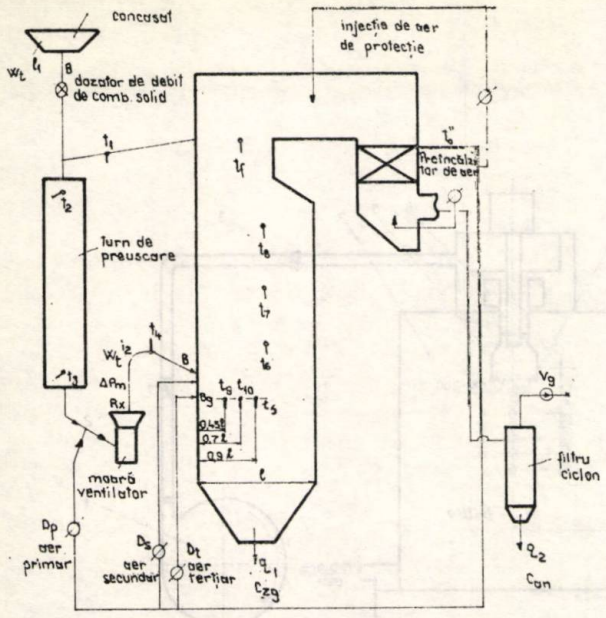
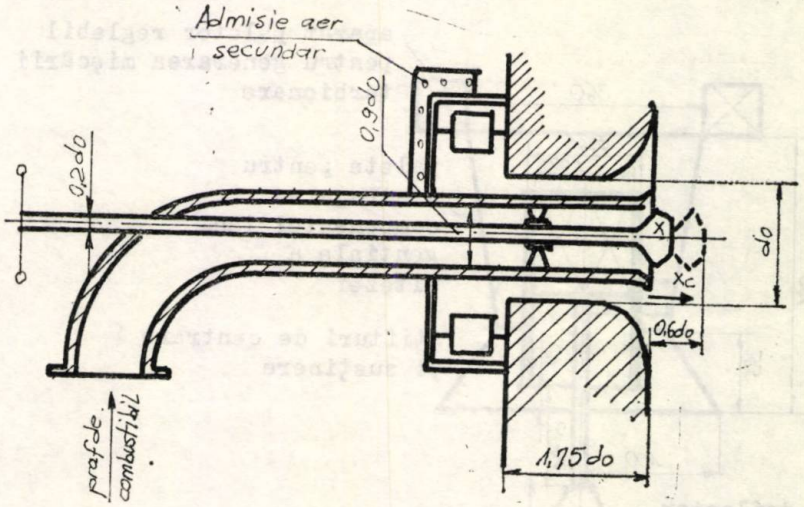


Fig. 16. Schema focarului experimental de la Catedra de cazane și turbine, Institutul politehnic București, pe care s-au făcut experimentările de ardere.

gazelor de ardere de la finele focarului. S-au măsurat de asemenea nearsele din zgură (q_1) și din cenușa de la filtrele mecanice (q_2), gradul de reținere a_{zg} a cenușii în pîlnia focarului, gradul de recirculare a gazelor de ardere de la finele focarului (r) și finețea de măcinare a prafului (R_x).

Focarul a fost echipat cu un arzător cu turbionare numai a aerului secundar, a cărui schemă este prezentată în figura 17. Aerodinamica arzătorului a fost studiată prin măsurători pe un model izotermic al arzătorului — fig. 18 prezintă standul de încercări, iar fig. 19 modelul hidraulic al arzătorului. (Variația radială a vitezei axiale în funcție de distanța axială și de poziția conului deflector este arătată în fig. 10).

Standul pentru încercări izotermice cuprinde ventilatorul (*1*) pentru un debit de 2100 m³/h, clapeta de reglare (*2*), diafragma de măsură (*3*), paletele radiale pentru turbionarea aerului (*6*), arzătorul (*5*) și camera de expandare (*4*). Cu



Detaliu privind construcția conului deflector

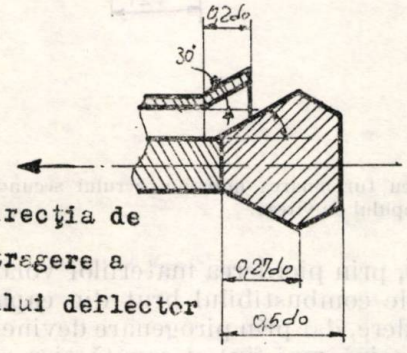


Fig. 17. Arzătorul cu turbionare numai a aerului secundar care a echipat focarul experimental de ardere a prafului de combustibil solid.

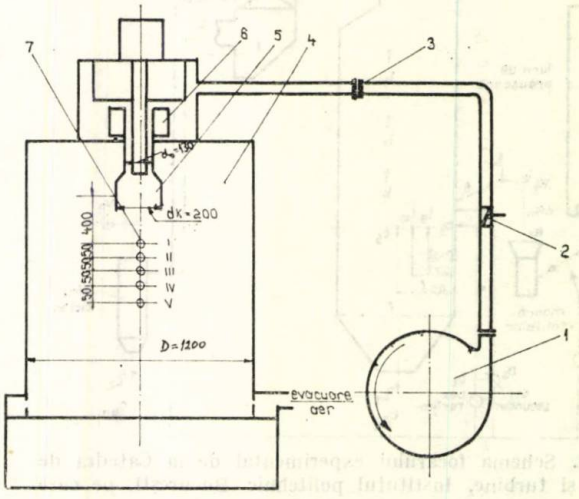
Cu $t_1 - t_{10}$ s-au notat termocuplele cu aspirație pentru măsurarea temperaturii, iar cu t_f — termocuplul de măsurare a temperaturii numerele *I* pînă la *V* s-au notat punctele de măsură în direcția axială.

Cîmpul de viteze a fost măsurat cu ajutorul unui tub Pitot echipat cu o protecție specială contra componentei tangențiale ce bate pe priza de presiune statică și cu o sondă cu cinci orificii, aparate ale căror caracteristici sînt prezentate în [6].

4. Cercetări experimentale asupra corelației dintre calitatea prafului de combustibil solid, finețea de măcinare și gradul de turbionare, necesară unei bune aprinderi la jeturile turbionate

Cercetările s-au efectuat cu lignit de diverse puteri calorice, cu șist bituminos și cu semicocs de șist bituminos. La lignit s-a studiat capacitatea de aprindere pentru un conținut mai

a)



b)

Fig. 18. Standul experimental pentru studiul distribuției vitezelor în jetul arzătorului cu turbionare numai a aerului secunda

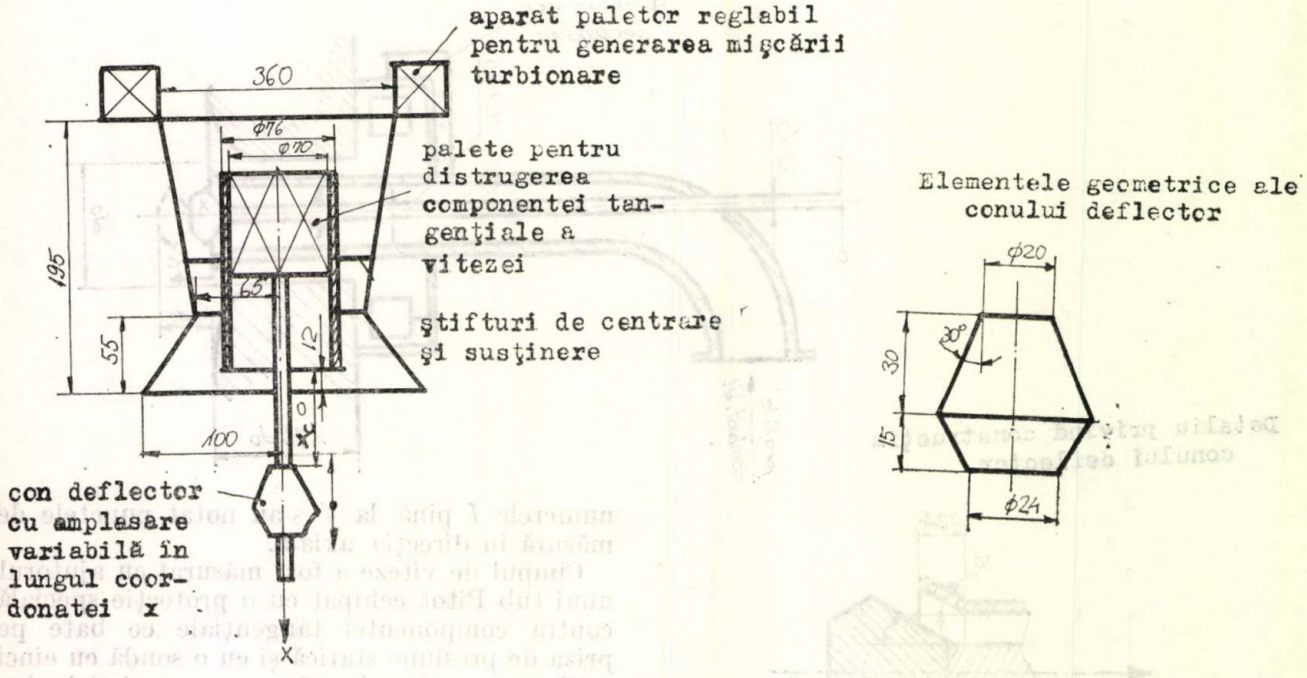


Fig. 19. Elementele constructive ale modelului izotermic al arzătorului cu turbionarea numai a aerului secundar, prezentat în figura 17, model pentru studiul cîmpului de viteze.

ridicat de materii volatile, dar cu un procent de umiditate îmbibatoare pentru ardere tot ridicat, cercetarea făcîndu-se pentru diverse finețe de măcinare. Șistul bituminos, datorită conținutului ridicat de material mineral, se aprinde de asemenea greu, iar utilizarea efectului de recirculare internă a jetului pentru aprindere și ardere este limitată de greutatea specifică mare, ce duce la creșterea centrifugării particulelor din jet. Semicocsul de șist bituminos, prin pierderea materiilor volatile, pierde față de combustibilul brut din capacitatea de aprindere, dar prin pirogenare devine mai friabil (se macină mai fin) și capătă și o reactivitate mai ridicată a masei carbonice cu mediul oxidant.

Aprinderea a fost analizată prin cîmpul de temperaturi în focar, iar arderea prin determinarea fracțiunii de material combustibil în zgură și în cenușă.

Tabelul 1

Caracteristicile ligniților experimentați

Lignitul	Puterea calorică inferioară kJ/kg	Cenușă A^i %	Umiditate W_t^i %	Materiii volatile V^{mC}, %
L_1	7100	25,96	40,36	21,27
L_2	7900	27,80	22,60	58,80
L_3	5700	36,80	40,00	49,80
L_4	5100	22,87	43	59,70
L_5	5420	16,55	55	31,27

Pentru exemplificare, în figura 20 *a* se arată cîmpul de temperaturi în focarul experimental la arderea ligniților L_1, L_2 și L_5, pentru finețea de măcinare exprimată prin curbele granulometrice din figura 20 *b*. Experimentările s-au efectuat cu un debit cuprins între 125 și 150 kg/h, debitul mai redus fiind cerut de capacitatea de uscare a ligniților umezi în cadrul schemei de preparare a prafului, drept suport termic fiind gazul natural, utilizat într-o astfel de proporție încît să permită menținerea unei încărcări termice a volumului focarului în domeniul $q_v = 55{,}55 - 63{,}88$ kW/m³.

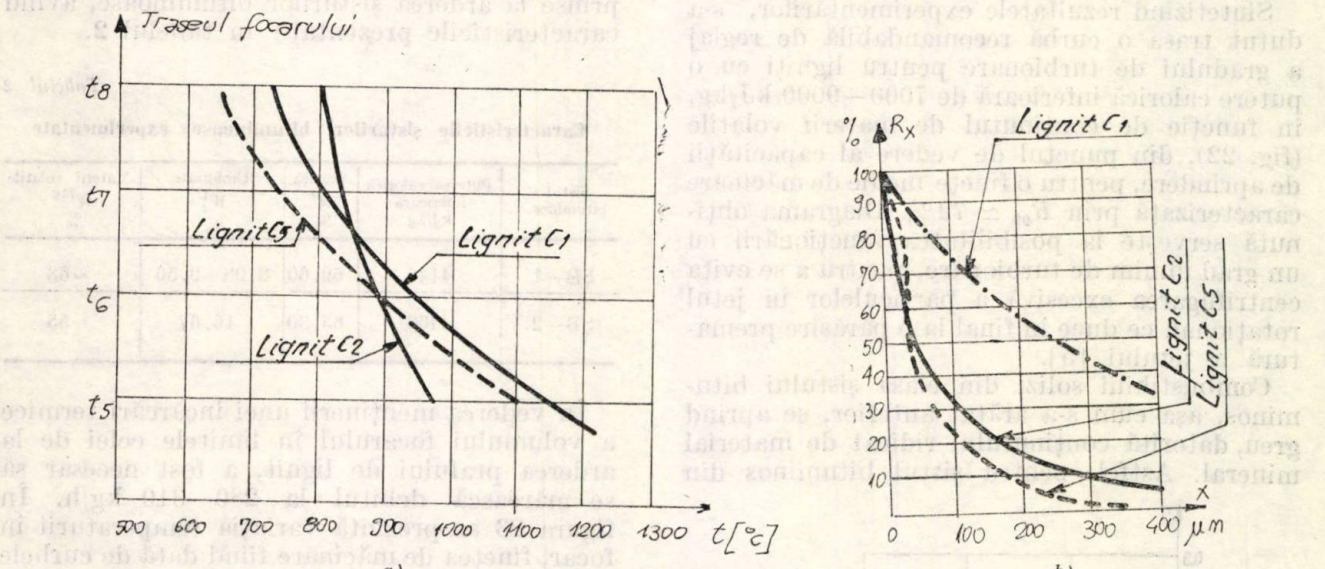


Fig. 20. Cîmpul termic în lungul focarului experimental și curbele granulometrice la arderea ligniților de calitatea C_1 C_2 și C_5 (L_1, L_2, L_5 din tabelul 1).

Gradul de recirculare a gazelor de ardere de la finele focarului, în cadrul schemei de preparare a combustibilului, a fost $r = 0{,}20 - 0{,}238$ pentru ligniții umezi L_1, L_3, L_4 și L_5 și $r = 0{,}11 - 0{,}19$ pentru lignitul L_2.

În cursul experimentărilor, agentul primar a avut o temperatură la ieșirea din separatorul morii cuprinsă între 110—135°C la lignitul L_2 și între 60—75°C pentru ligniții umezi.

Gradul de turbionare a fost $n = 0{,}6$ pentru ligniții L_1 și L_5 și $n = 0{,}4$ pentru lignitul L_2, turbionare la care s-a realizat o bună aprindere a prafului de combustibil, aprindere caracterizată prin amplasarea maximului de temperatură în apropierea gurii arzătorului (la nivelul punctului de măsură t_5). Cîmpul de temperaturi, pe parcursul tuturor experimentărilor întreprinse, a fost măsurat la o distanță radială față de gura arzătorului egală cu 1,6 d_0. Se remarcă marea importanță a fineții de măcinare, lignitul L_5 care a fost măcinat foarte fin ($R_{90} = 12 - 15\%$) aprinzîndu-se fără probleme, cu toate că a fost caracterizat printr-un mare conținut de umiditate și un conținut redus de materii volatile. Lignitul L_1, deși a avut cea mai bună calitate, datorită măcinării mai grosiere ($R_{90} \simeq 72 - 75\%$), a cerut un grad de turbionare mediu, $n = 0{,}6$, turbionare ce a putut fi scăzută la $n = 0{,}4$ la lignitul L_2, lignit cu o putere calorică apropiată, dar măcinat mai fin ($R_{90} = 30-32\%$).

Arderea în ansamblu a ligniților L_1, L_2 și L_5 a fost caracterizată printr-o pierdere prin nearse din punct de vedere mecanic cuprinsă în limitele $q_m = 3{,}7-5{,}45\%$.

Studiind evoluția temperaturii în lungul focarului la arderea ligniților L_3 și L_4 (fig. 21), ligniți cu un mare conținut de materii volatile, dar cu o putere calorică mai mică și măcinați mai grosier ($R_{90} = 60-76\%$), s-a remarcat o aprindere întîrziată, corespunzător punctului de măsură t_6, pentru un grad de turbionare $n = 0{,}8$. Debitul de combustibil a fost de 150 kg/h, cu un adaos de combustibil gazos, pînă la o încărcare termică a volumului focarului tot în domeniul $q_v = 55-64$ kW/m³. Agentul primar la ieșirea din arzător a avut o temperatură de circa 140°C la lignitul L_3 și de 80—90°C la lignitul L_4, pentru o proporție aer primar — aer total de ardere în domeniul

0,52—0,63, mai mare pentru lignitul cu un conținut mai ridicat de materii volatile. Pierderile prin nearse din punct de vedere mecanic fiind $q_m = 2{,}4—2{,}88\%$.

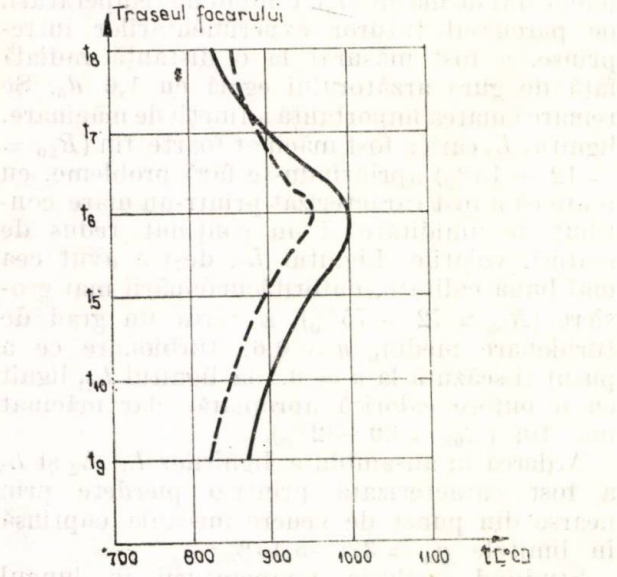


Fig. 21. Variația temperaturii în lungul focarului la arderea ligniților L_3 și L_4 (debit cărbune 150 kg/h)
▬ lignitul L_3; — — — lignitul L_4.

Sintetizînd rezultatele experimentărilor, s-a dutut trasa o curbă recomandabilă de reglaj a gradului de turbionare pentru ligniți cu o putere calorică inferioară de 7000—9000 kJ/kg, în funcție de conținutul de materii volatile (fig. 22), din punctul de vedere al capacității de aprindere, pentru o finețe medie de măcinare caracterizată prin $R_{90} \simeq 72\%$. Diagrama obținută servește la posibilitatea funcționării cu un grad minim de turbionare, pentru a se evita centrifugarea excesivă a particulelor în jetul rotațional, ce duce în final la o părăsire prematură a jetului [5].

Combustibilii solizi din clasa șistului bituminos, așa cum s-a arătat anterior, se aprind greu, datorită conținutului ridicat de material mineral. Astfel, pentru șistul bituminos din

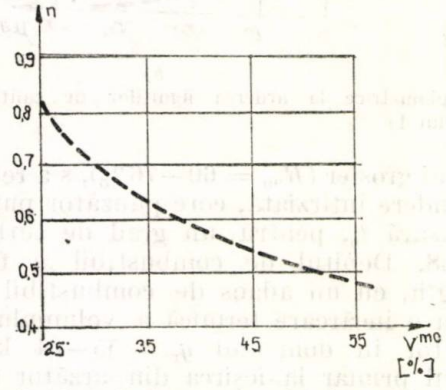


Fig. 22. Curbă obținută experimental de reglaj al gradului de turbionare în funcție de conținutul de materii volatile al prafului de lignit (putere calorică inferioară 7000—9000 kJ/kg, $R_{90} \simeq 72\%$), din punct de vedere al capacității de aprindere.

bazinul Banat, după datele din [16], timpul de pregătire în vederea aprinderii se poate calcula cu ajutorul relației:

$$\tau_p = K_p \cdot d_{mc}^{0,22} \cdot T^{-4,05} \cdot O_2^{-0,34} [s] \qquad (24)$$

unde d_{mc} este diametrul mediu corectat al particulei de șist bituminos, în cm; T — temperatura, O_2 — conținutul de oxigen, iar K_p — constantă ce ține seama de felul combustibilului și se exprimă în K^4s/cm. Pentru șistul bituminos din Banat, $K_p = 61{,}5 \cdot 10^{12}$ K^4s/cm, față de $K_p = 19 \cdot 10^{12}$ K^4 s/cm pentru cărbunele de Vulcan și $K_p = 10{,}1 \cdot 10^{12}$ K^4 s/cm pentru lignitul de Rovinari.

Conținutul mare de materii volatile raportat la masa combustibilă [$V^{mc} = 65 - 72\%$] conduce la o ardere reactivă după reacția de amorsare a flăcării, lungimea efectivă de ardere fiind destul de redusă.

Datorită greutății specifice ridicate a șistului bituminos, nu este de dorit mărirea gradului de turbionare în vederea creșterii debitului de fluid recirculat intern pentru scurtarea lungimii de amorsare a flăcării prin ridicarea temperaturii din zona de pregătire, principala cale rămînînd creșterea fineții de măcinare. În continuare sînt prezentate concluziile desprinse la arderea șisturilor bituminoase, avînd caracteristicile prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2

Caracteristicile șisturilor bituminoase experimentate

Șistul bituminos	Puterea calorică inferioară kJ/kg	Cenușă A^i %	Umiditate W_t^i %	Materii volatile V^{mc} %
ȘB—1	4140	69,60	8,08—9,56	~68
ȘB—2	4460	65,30	16,67	55

În vederea menținerii unei încărcări termice a volumului focarului în limitele celei de la arderea prafului de lignit, a fost necesar să se mărească debitul la 280—310 kg/h. În figura 23 se prezintă variația temperaturii în focar, finețea de măcinare fiind dată de curbele granulometrice din figura 24.

Aprinderea mai bună a șistului bituminos ȘB—2 se datorește fineții de măcinare mai bune, turbionarea fiind constantă ($n = 0{,}6$). Modificarea turbionării a dus la o modificare a cîmpului de temperaturi în zona de amorsare a flăcării, pentru diverse poziții x_c/d_0 ale conului deflector, așa cum arată datele din figura 25. Arderea a fost caracterizată printr-un procent de material combustibil în zgură ($C_{zg} \simeq 20\%$) și în cenușă antrenată ($C_{an} \simeq 4{,}07 - 4{,}27\%$) pentru șistul bituminos ȘB—1 și $C_{zg} \simeq 10{,}82\%$, $C_{an} \simeq 0{,}71\%$ pentru șistul bituminos ȘB—2, gradul de recirculare a gazelor de ardere în

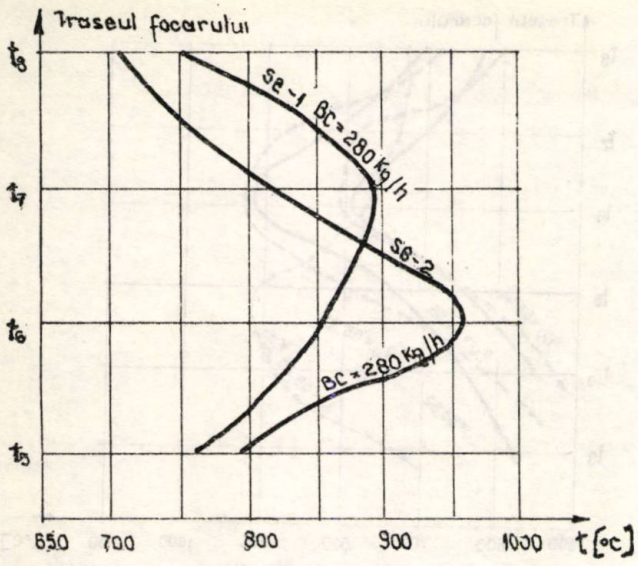


Fig. 23. Variația temperaturii în lungul focarului la arderea șistului bituminos.

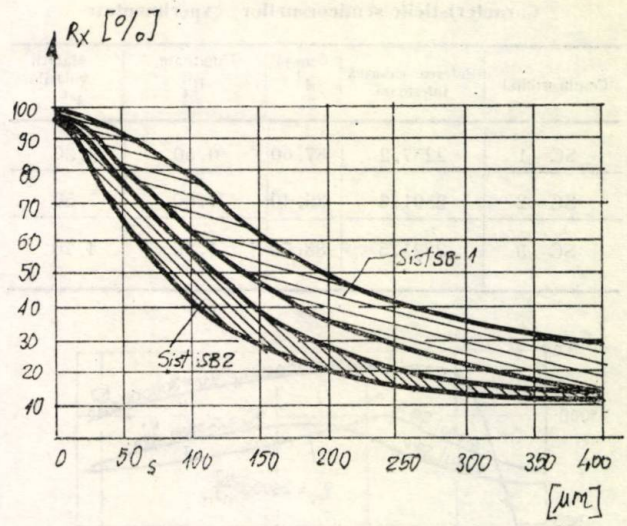
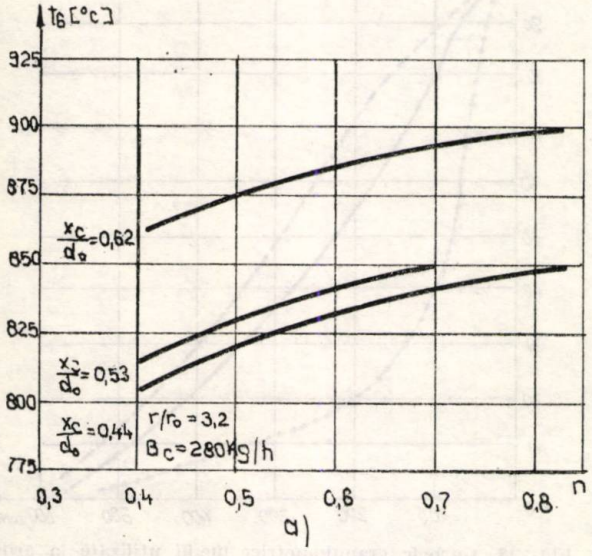


Fig. 24. Curbele granulometrice ale prafului de șist bituminos.



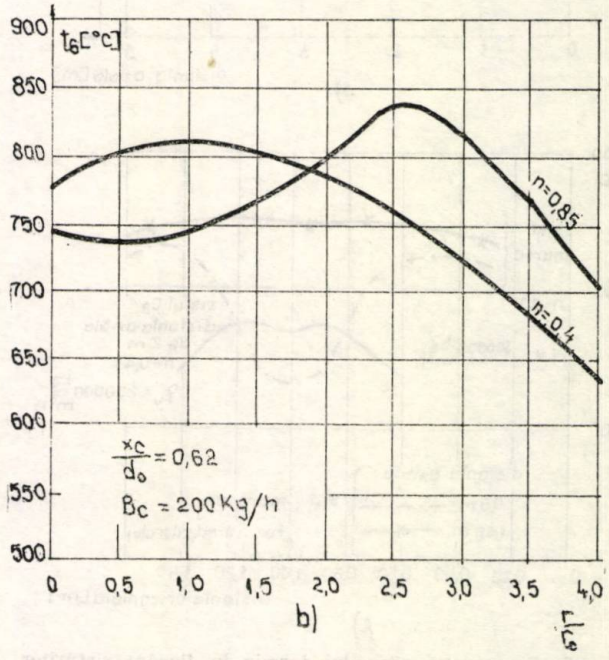


Fig. 25. Modificarea temperaturii în zona de amorsare a flăcării la variația gradului de turbionare, în corelație cu poziția conului deflector, la arderea șistului bituminos ȘB—2.

cadrul schemei de preparare a prafului fiind în domeniul $r = 0{,}15-0{,}19$ pentru ambii combustibili.

Experiențele au arătat o bună aprindere a norului de particule de șist bituminos pentru cazul unei temperaturi în zona de pregătire (zona de recirculare internă) de 750—800°C. Cercetări întreprinse la Ijmuiden de ardere a șistului bituminos din Maroc (cu multe caracteristici asemănătoare cu șistul bituminos ȘB—2) recomandă o temperatură apropiată în zona de pregătire de 825—850°C [17]. În figura 26 se prezintă comparativ evoluția arderii caracterizată prin cîmpul termic pentru șisturile bituminoase ȘB—1, ȘB—2 și cel din Maroc, diferențele datorîndu-se fineții de măcinare mai bune realizată la Ijmuiden ($R_{90} = 25-35$ %, grad de turbionare 0,3—0,5).

Extragerea de ulei din șistul bituminos prin pirogenare, procedeu ce dă o utilizare energo-tehnologică a șisturilor bituminoase, duce la obținerea așa-numitului semicocs de șist bituminos (combustibil solid caracterizat printr-un conținut redus de materii volatile și o putere calorică mai scăzută decît a șistului bituminos brut din care provine). În tabelul 3 se prezintă calitatea semicocsului de șist bituminos cu care s-au făcut primele experimentări

Tabelul 3

Caracteristicile semicocsurilor experimentate

Combustibilul	Puterea calorică inferioară	Cenușă A^i %	Umiditate W_t^i %	Materii volatile V^i %
SC—1	2257,2	87,60	0,50	3,30
SC—2	2591,6	86,40	1,00	7,50
SC—3	2821,5	88,70	1,10	4,70

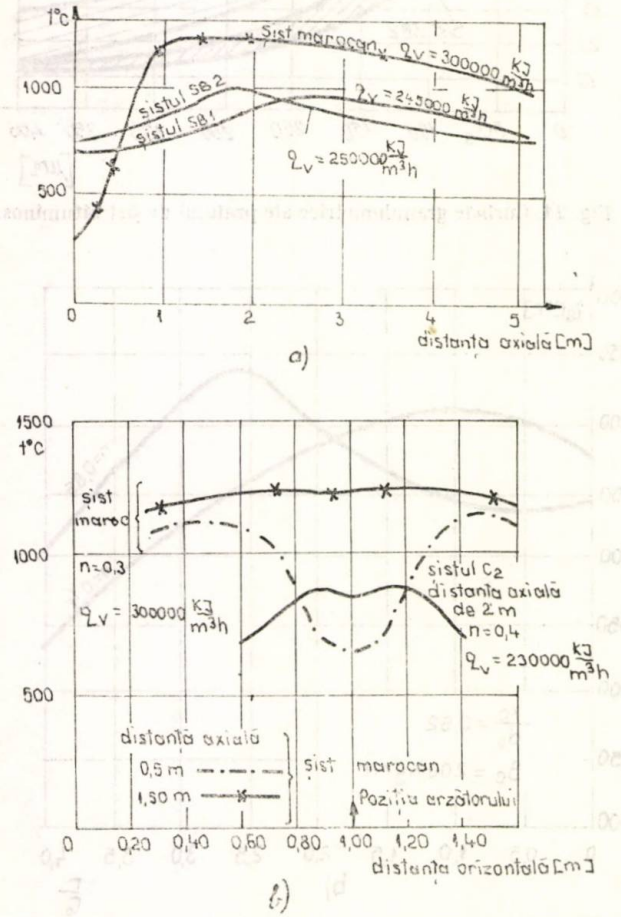


Fig. 26. Comparația cîmpului termic în flacăra șisturilor bituminoase ȘB—1, ȘB—2 și a șistului bituminos de Maroc experimentat la Ijmuiden.

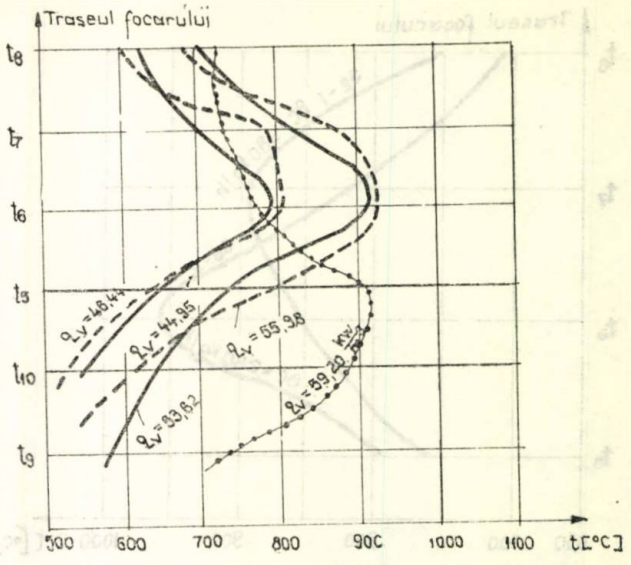


Fig. 27. Variația temperaturii în lungul focarului experimental la arderea semicocsului de șist bituminos (— SC—1; — — — SC—2; •—•—• SC—3).

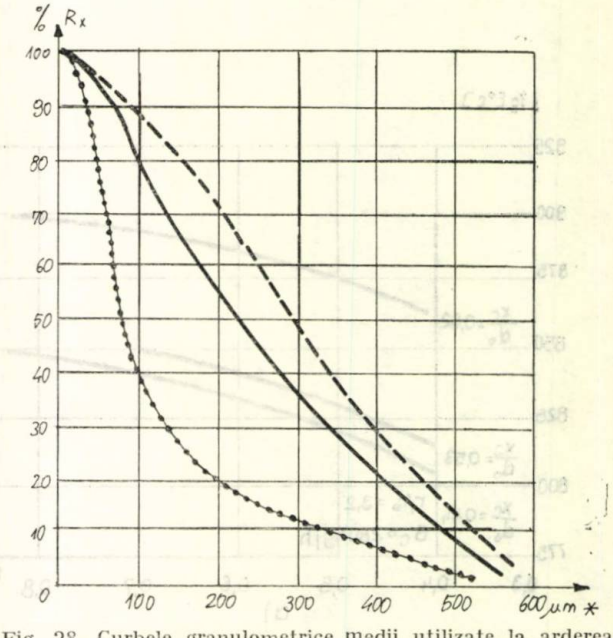


Fig. 28. Curbele granulometrice medii utilizate la arderea semicocsului de șist bituminos. Notarea curbelor este identică cu figura 27.

de ardere pe focarul experimental de la Catedra de cazane și turbine [18].

Arderea nu s-a putut realiza decît cu o participare ridicată de combustibil gazos auxiliar, datorită puterii calorice reduse a semicocsului de șist bituminos și încărcării termice reduse a focarului, în limitele a 60—72 procente termice la SC—1 și SC—2 (pentru un debit de 310 kg/h) și de 47—56% la arderea semicocsului SC—3 (debit 300 kg/h). Încărcarea termică a volumului focarului a fost în limitele $q_v = 55{,}55 - 58{,}33$ kW/m³ pentru semicocsul SC—1 și SC—2 și $q_v = 55{,}55 - 59{,}2$ kW/m³, pentru semicocsul SC—3.

Experimentările au evidențiat importanța finetii de măcinare asupra capacității de aprindere. Astfel, analizînd curbele evoluției temperaturii în lungul focarului prezentate în figura 27, se remarcă buna aprindere a semicocsului SC—3, ca urmare a ridicării finetii de măcinare, caracterizată prin $R_{90} = 43 - 46\%$ la acest combustibil, față de $R_{90} = 82 - 93\%$ în cazul semicocsului SC—1 și SC—2, pentru un grad de turbionare $n = 0{,}85$ (curbele granulometrice fiind prezentate în figura 28).

În cursul experimentărilor, aerul preîncălzit a avut o temperatură de 230—250°C, agentul primar la ieșirea din separatorul morii a avut

o temperatură cuprinsă între 120—125°C, proporţia de aer primar — aer total de ardere fiind de 0,5—0,52 pentru semicocsurile de şist bituminos SC—1 şi SC—2 şi de 0,41—0,42 pentru semicocsul SC—3.

Concluzii

Lucrarea a căutat să pună în evidenţă capacitatea de aprindere a unui nor de particule de combustibil solid inferior, pentru cazul utilizării arzătoarelor turbionare. Multitudinea datelor prezentate se consideră că va ajuta la construcţia unor astfel de arzătoare, ce se află în curs de dezvoltare în ţara noastră.

Din datele prezentate se constată că aprinderea norului de particule depinde de o multitudine de factori, pentru fiecare combustibil solid trebuind să se ia în considerare o optimizare a interacţiunii acestora.

Utilizarea jeturilor rotaţionale (a arzătoarelor turbionare) uşurează mult posibilitatea de aprindere, chiar pentru combustibilii săraci în materii volatile, sau cu un ridicat conţinut de balast (cenuşă şi umiditate).

Bibliografie

[1] Beér, I. M. *Combustion aerodynamics.* Londra, 1972.

[2] Leuckrel, W. *Cercetări privind stabilitatea aprinderii şi repartiţiei reacţiei în flăcările de difuzie turbulente, cu mişcare giratorie.* În : D. S. Combustibili, nr. 4, 1971.

[3] Ahmedov, R. B. *Aerodinamika zakrucenoi strui.* Ed. Energhiia, Moscova, 1977.

[4] Mihăescu, L. *Cercetări asupra posibilităţilor de ardere a combustibililor solizi inferiori sub formă pulverizată cu arzătoare de tip turbionar.* În : Energetica, 28, nr. 3, 1980.

[5] Mihăescu, L. *Cercetări asupra timpului de separare a particulelor de combustibil solid într-un jet turbionat.* În : Energetica-supliment, vol. 3, 1979.

[6] Mihăescu, L. *Contribuţii asupra influenţei parametrilor constructivi şi funcţionali ai arzătoarelor de combustibil solid pulverizat asupra arderii în focarele cazanelor de abur.* Teză de doctorat, IPB, 1980.

[7] Ahmedov, R. B. ş.a. *Raşcet smejeniia gazovîh strui s poperecinim zakrucenim potokom vozduha v gorelke s difuzionim regulirovaniem.* În : Teploenerghetika, nr. 10, 1977.

[8] Mihăescu, L. ş.a. *Cercetări asupra cîmpului de viteze şi a debitului de gaze recirculate intern la un jet turbionat, cu aplicaţii la arzătoare de acest tip.* În : Energetica, nr. 3, 1979.

[9] Zalkowski, I. *Dezvoltarea teoriei arderii amestecurilor de praf de cărbune.* În : D.S. Combustibili, nr. 4, 1972.

[10] Hein, K. *Traseele de curgere ale unei flăcări turbionate de praf de cărbune şi influenţa lor asupra comportării la aprindere şi ardere.* În : D.S. Combustibili, nr. 8, 1970.

[11] Carabogdan, I. şi Pănoiu, N. *Bazele teoretice ale aprinderii şi arderii combustibililor solizi.* Ed. Acad. R.S.R., Bucureşti, 1970.

[12] Singer, G. *Contribuţii la studiul procesului de ardere a cărbunelui pulverizat.* Teză de doctorat, IPB, 1975.

[13] Neaga, C. *Contribuţii la studiul recirculării gazelor de ardere la cazanele de abur funcţionînd cu combustibil solid pulverizat.* Teză de doctorat, IPB, 1977.

[15] Reményi, K. *Rolul diferitelor caracteristici de ardere în realizarea stabilităţii arderii.* În : D.S. Combustibili, nr. 2, 1973.

[16] Carabogdan, I. şi Dămăceanu, E. *Consideraţii asupra caracteristicilor energetice ale şisturilor bituminoase din Banat.* În : Studii şi cerc. de energ. şi electrotehnică, nr. 2, 1972.

[17] Payne, R. ş.a. *Etudes à propos de la combustion du schiste bitumineux marocain.* În : Rev. Générale de Thermique, nr. 196, aprilie, 1978.

[18] Postelnicescu, M., Mihăescu, L. şi Anghel, V. *Cercetări de ardere a semicocsului de şist bituminos.* Al doilea Simpozion de ştiinţă modernă şi energie, Cluj-Napoca, 26—27 martie 1981.

(Articol intrat în redacţie la 28 august 1981)

Posibilităţi de recuperare a masei combustibile din zgură prin recirculare, procedeu de reducere a pierderilor prin nearse mecanice la cazanele ce ard lignit

Ing. I. M. Ionescu,
Ing. I. Müller,
Ing. M. Constantin *)

În ţara noastră are loc o creştere accelerată a puterii instalate în centralele termoelectrice care folosesc drept combustibil de bază lignitul. Este necesară, în acest context, folosirea acestui combustibil inferior cu eficienţă economică ridicată, deci, pe cît posibil, reducerea la minimum a pierderilor de căldură care au loc la ardere. Una dintre aceste importante pierderi este produsă prin arderea incompletă din punct de vedere mecanic a masei combustibile din cărbune (q_4). Unele particule de cărbune, măcinate grosier, nu au timp suficient de staţionare în focar pentru a se consuma total, şi astfel o parte din masa combustibilă se regăseşte în pîlnia rece a focarului cazanului, înglobată în zgură.

În literatura de specialitate [1], [2] sînt prezentate soluţii pentru reducerea nearselor q_4, prin îmbunătăţirea calităţii prafului de cărbune (măcinare avansată) sau prin metode de reţinere mai îndelungată a cărbunelui pulverizat în focarele cazanelor şi crearea condiţiilor necesare arderii complete. Aceste soluţii, care trebuie prevăzute în faza de proiectare, nu se pot aplica în mod eficient, prin modificări, la cazanele deja construite şi nu pot acoperi întreaga varietate de instalaţii de producere a aburului prin arderea lignitului, existente în ţara noastră.

*) Autorii lucrează la ICEMENERG.

Astfel apare ideea reintroducerii în circuitul combustibilului a zgurii ce conține încă particule cu masă combustibilă.

Din literatura de specialitate rezultă că în R.D.G. se folosește un procedeu de ardere a cenușilor umede rezultate din amestecul zgură și cenușă la arderea cărbunilor inferiori. Procedeul propus și experimentat de autorii articolului de față se referă numai la arderea zgurii rezultate la pîlnia focarului.

Caracteristici energetice ale zgurilor și posibilități de valorificare a acestora

Pornind de la formula de calcul a lui q_4, se remarcă dependența acestuia de următorii parametri ai focarului și zgurii:

$$q_4 = f(a_{zg},\ c_{zg}) \tag{1}$$

În studiile efectuate asupra unor cazane funcționînd pe lignit s-au determinat:

— gradul de reținere al focarului, $a_{zg} = 15-20\,\%$ [5], [6], [7].

— procentul de nearse în zgură, $c_{zg} = 35-40\,\%$ [4], [5], [6], [7].

Gradul de reținere al focarului, a_{zg}, a fost determinat pentru mai multe tipuri de cazane exploatate în țara noastră, în mai multe regimuri funcționale controlate. Astfel, pentru cazanele VZKG 330 t/h și 370 t/h, valoarea $a_{zg} = 20\,\%$, este sensibil apropiată; pentru cazanul VZKG 640 t/h, $a_{zg} = 15{,}4\,\%$; cazanul MAN de 510 t/h are $a_{zg} = 7{,}8\,\%$. Cifrele indicate reprezintă rezultatul unor multiple măsurători pe aceste instalații și pot fi considerate ca medii. Construcția cazanului influențează mult valoarea lui a_{zg}, după cum se poate urmări la cazanul menționat de 510 t/h [5], [6].

S-au determinat, de asemenea, valorile mărimii puterii calorice superioare la masa combustibilă, acestea reprezentînd pentru ligniții din bazinul Oltenia $Q_s^{mc} = 5800-6200$ kcal/kg, iar pentru zgurile provenite din ligniții din bazinul Oltenia $Q_s^{mc} = 6200-6600$ kcal/kg [4], [5], [6], [7].

Cercetările menționate au stabilit aceste mărimi în regimuri de exploatare curente în ultimii ani.

Pentru reducerea lui q_4 trebuie intervenit asupra termenului c_{zg}, în sensul diminuării procentului de nearse la valori cît mai mici. Astfel, s-a pus problema arderii repetate a masei combustibile din zgură în amestec cu lignitul în focarele cazanelor ce utilizează acest combustibil.

În sprijinul acestei soluții, analizele de laborator au pus în evidență următoarele caracteristici ale noului sort de combustibil inferior:

— umiditatea totală după contactul cu apa în pîlnia rece a cazanului	$W_t^i = 52-54\,\%$
— puterea calorică inferioară	$Q_t^i = 750-900$ kcal/kg
— conținut de volatile	$V^{mc} = 35-40\,\%$

Pe această cale are loc o recuperare a pierderilor q_4, evident afectate cu „eficiența de ardere a zgurilor". S-a dat această denumire raportului dintre cantitatea suplimentară de căldură utilă livrată de cazan prin adaosul la ardere a acestui combustibil inferior și capacitatea calorică a zgurii preparate pentru ardere. Noțiunea este necesară pentru a nu se confunda cu randamentul global al cazanului în care este ars amestecul, acesta din urmă fiind mai redus decît randamentul aceleiași instalații în care se arde lignit simplu [2].

Față de cele arătate, rezultă:

$$(Ef)\,a_{zg} < \eta_{am} < \eta l, \tag{2}$$

unde

$$(Ef)a_{zg} = \frac{Q_u - (B_l \cdot Q_{il}^i + B_{gc} \cdot Q_{igc}^i) \cdot 1}{B_{zg} \cdot Q_{izg}^i} \tag{3}$$

$$\eta_{am} = \frac{Q_u'}{B_l \cdot Q_{il}^i + B_{gc} \cdot Q_{igc}^i + B_{zg} \cdot Q_{izg}^i} \tag{4}$$

$$\eta_l = \frac{Q_u}{B_l \cdot Q_{il}^i + B_{gc} \cdot Q_{igc}^i} \tag{5}$$

Relațiile (3) și (4) exprimă faptul că eficiența de ardere a zgurilor înglobează și pierderea din eficiența cazanului în momentul introducerii în focarul său a unui combustibil inferior celui de proiect:

$(Ef)a_{zg}$ este eficiența de ardere a zgurilor;

η_{am} — randamentul cazanului pe amestec;

η_l — randamentul cazanului pe lignit;

Q_u, Q_u' — căldura utilă produsă de cazan la funcționarea pe lignit, respectiv pe amestec;

B_l, B_{gc}, B_{zg} — debitul masic de cărbune (lignit), gaze combustibile și zgură;

Q_{il}^i, Q_{igc}^i, Q_{izg}^i — puterea calorică inferioară a cărbunelui (lignit), gaze combustibile și zgură.

Se apreciază că zgura prelevată la pîlnia rece a cazanului, cu toate că a străbătut întreg focarul, conține un procent foarte ridicat de

volatile, element esențial în ce privește aprinderea acestora. Explicația constă în faptul că particulei de lignit regăsite la pîlnia rece a cazanului, fiind de dimensiune ridicată (măcinată grosier), îi este necesar un timp de uscare și apoi de degajare a volatilelor superior timpului ei de staționare în focar.

La reutilizare, această particulă este din nou măcinată, avînd, în consecință, posibilitate mai mare de ardere.

Descrierea și utilizarea stației-pilot experimentale

Necesitatea realizării unui procedeu și a unei instalații pentru folosirea zgurii în procesele de măcinare și ardere s-a pus atunci cînd cercetările [3], [4], [5] au demonstrat existența și mărimile pierderilor în zgurile de la pîlnia focarului la diferite cazane reprezentate în esență prin mărimea lui q_4.

Astfel, existau mai multe posibilități pentru folosirea masei combustibile a zgurii evacuate la pîlnia focarului, dar acestea implicau construcții de instalații, pe cazan (la camera focară) sau (și) pentru evacuarea zgurii în afara sălii cazanului, de amestecare cu cărbuni în depozit, transportul pe unica bandă de alimentare a etapei I, la banda de distribuție, pentru buncărele 1—6, apoi din fiecare buncăr prin șase benzi Redler la șase sisteme de măcinare cu coloană de uscare, moară, separator, la arzător, pentru fiecare din cazanele 1—6. Realizarea unor astfel de procedee și instalații de încercări industriale pentru experimentări punea probleme fără soluții.

Aceasta fiind situația, s-a abordat soluția cea mai simplu de realizat, cu o stație-pilot (fig. 1) dublă (din două componente identice), montate pe verticală în stînga și dreapta cazanului 2, colectînd zgura de la cazanele 1 și 3 și transportînd-o pe benzile Redler a două sisteme de măcinare simetrice, din stînga și dreapta cazanului 2.

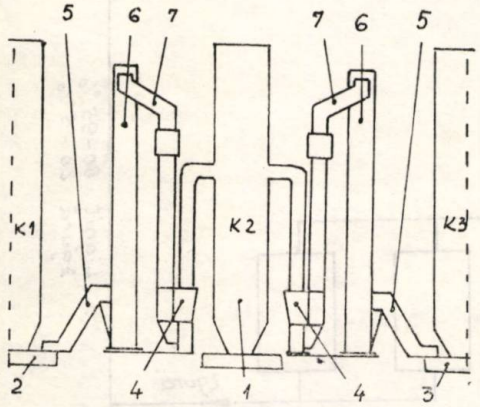


Fig. 1. Stație-pilot necesară experimentărilor de măcinare și ardere a zgurilor

1 — cazan pentru experimentări; *2—3* — cazane debitoare zgură; *4* — instalații de măcinare — mori-ventilator; *5* — dispozitiv prelevare zgură; *6*—elevatoare; *7* — dispozitiv alimentare benzi Redler.

Concepția stației-pilot întîmpina eliminarea oricăror impedimente tehnice și funcționale insurmontabile, legate atît de realizarea unor instalații suplimentare, cît și de asigurarea funcționării condiționate de exploatarea întregii instalații, respectiv a cazanelor 1, 2 și 3, care trebuia să producă și să funcționeze în barele centralei.

Cu ajutorul unor șnecuri transportoare (fig. 1, poz. *5*) se prelevă zgura cazanelor 1 și 3, care în prealabil este separată de apă printr-un dispozitiv special construit și este transportată la gura unui elevator (fig. 1, poz. *6*), care ridică zgura la cota + 17 m, unde, cu ajutorul benzilor transportoare (fig. 1, poz. *7*), este deversată printr-un dispozitiv de etanșare în benzile Redler simetrice ale cazanului 2.

Pe benzi, zgura urmează același traseu, se amestecă cu lignitul, intră în coloana de uscare, moară, separator și apoi, prin arzătoarele de praf, în camera focară în stare pulverizată, dînd posibilitatea de realizare a procedeului de amestecare și dozare, măcinare și ardere.

Această stație-pilot, după cum se observă, a avut drept scop să realizeze procesele de captare, transport, preparare pentru arderea masei combustibile din zgură cît mai complet, în modul cel mai simplu controlat, eliminînd toate procesele suplimentare, precum și dispozitive, mecanisme și instalații care ar afecta pîlnia focarului și instalația de cazan, fiabilitatea și siguranța de exploatare.

Metodica încercărilor; rezultate

Încercările experimentale s-au desfășurat în două etape: în prima etapă s-a analizat funcționarea cazanului și a sistemului de măcinare, consumînd lignit, determinîndu-se în principal randamentul cazanului, participația calorică a gazelor combustibile, precum și finețea de măcinare. A doua etapă — funcționarea cazanului pe amestec — a fost necesară în vederea stabilirii măcinării, a aportului de căldură suplimentar adus de zgură, precum și a calculării eficienței la ardere a acesteia.

Cu privire la măcinare s-a observat o îmbunătățire a calității prafului datorită friabilității ridicate a zgurii, precum și granulației inițiale reduse, diametrul caracteristic al particulelor de amestec, $d'_{am} = 170$ μm, fiind mai mic decît cel al lignitului, $d'_l = 210$ μm, importantă fiind scăderea substanțială a resturilor pe sitele mari: $R_{1000am} = 2{,}1\%$, $R_{1000l} = 3{,}9\%$ (fig. 2). Cunoscînd că timpul de ardere a reziduului carbonos este direct proporțional cu d', folosirea în amestec favorizează procesul de ardere [1]:

$$\tau_r = \frac{k \cdot f(n) \cdot r^{1,85}}{T \cdot W_r^{0,15}}, \qquad (6)$$

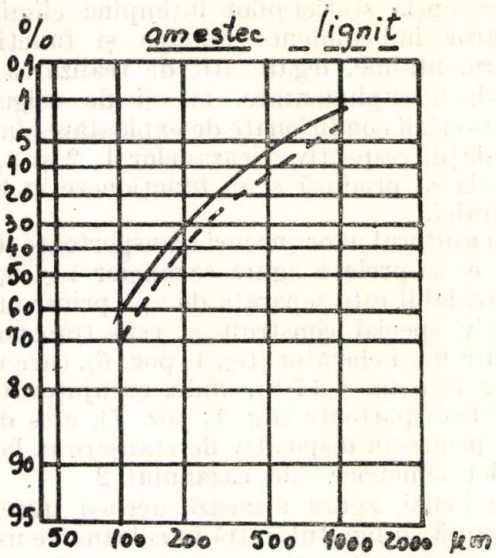


Fig. 2. Curbele RRS pentru lignit și amestec.

în care

τ_r este timpul de ardere;

r — raza particulei, presupusă de formă sferică;

T — temperatura absolută a fluidului în jurul particulei;

W_r — viteza relativă a particulei față de viteza acestui fluid;

$f(n)$ — funcție de coeficientul de exces de aer în focar;

k — factor ce depinde de greutatea specifică a combustibilului, viscozitatea cinematică a fluidului purtător, procentul de volatile etc.

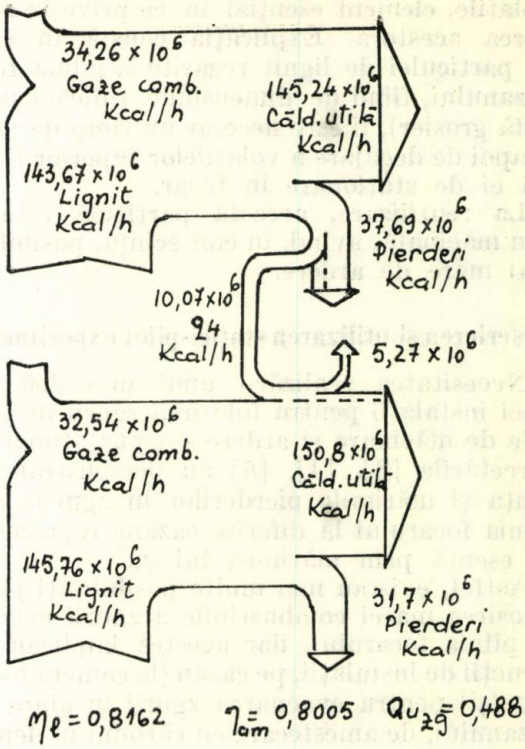


Fig. 3. Bilanțul termic al cazanului funcționînd pe lignit și amestec.

Deoarece, prin adaosul zgurilor cu umiditate de circa 52—54 %, în proporție masică de 10 %, umiditatea amestecului a crescut puțin (de la $w_{lt}^i = 40\,\%$, rezultă $w_{lam}^i = 42\,\%$), a fost necesară analiza prafului măcinat, constatîndu-se că sistemul de uscare experimentat (moara

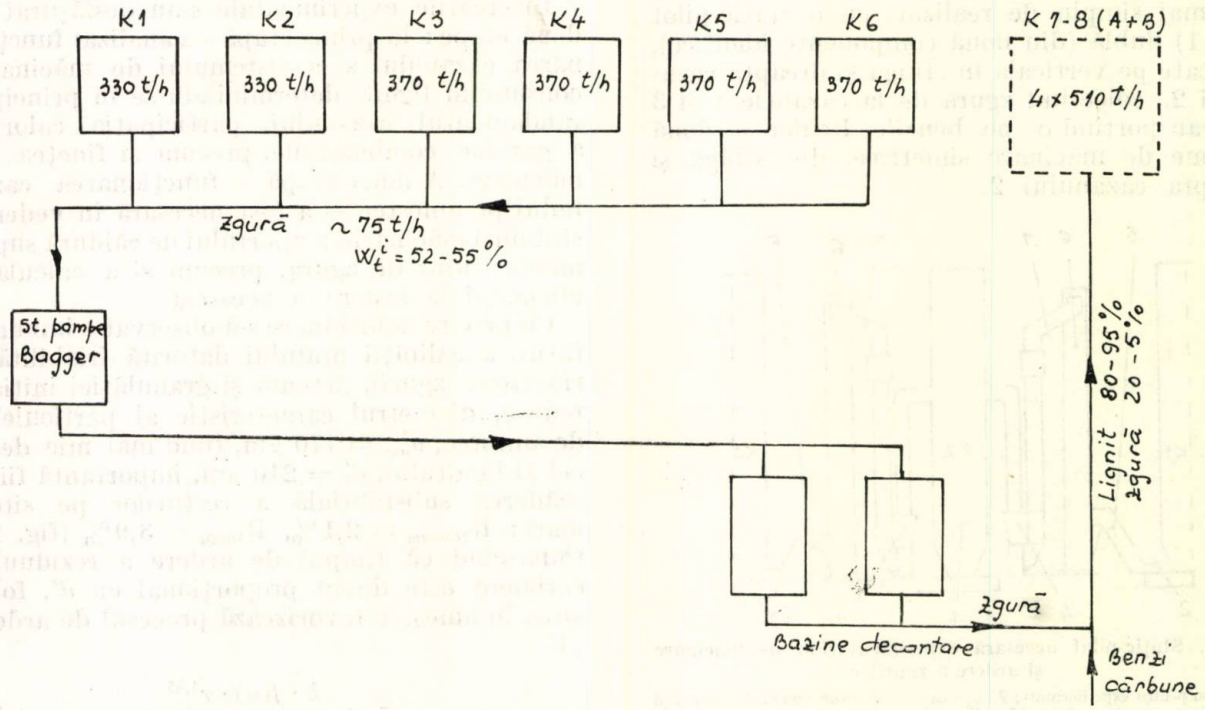


Fig. 4. Ansamblu de valorificare prin ardere a zgurii colectate de la CET Ișalnița — etapa I.

MV 38) este capabil să preia din combustibil și acest supliment de apă ($w_t^{praf} = w_{am}^{praf} = 5\%$).

Rezultatele experimentărilor de ardere sînt sintetizate în figura 3. Se constată că aportul caloric al zgurii, de circa 6,8%, aduce un supliment de căldură utilă cazanului de 3,3%, avînd o eficiență la ardere de 48,8%.

În acest mod scopul cercetării a fost atins, stabilindu-se în final posibilitățile industriale de folosire în condiții de siguranță totală a instalației și determinarea procentului optim de zgură în amestecul introdus la ardere.

Instalații industriale necesare utilizării zgurii. Eficiență economică

Acest procedeu de reutilizare a masei combustibile rămase în zgură și evacuată în pîlniile reci ale focarelor ce ard lignit este aplicabil la unele cazane mari din țara noastră. O primă posibilitate ar fi la CET Ișalnița, unde, pe baza experimentului descris, se propune arderea zgurilor colectate de la cele șase cazane ale etapei I la unul din cele patru cazane ale etapei II. Arderea s-ar face în amestec cu lignitul.

Valorificarea acestei soluții presupune următoarele amenajări și reconstrucții în cadrul centralei, folosind componentele indicate schematic în figura 4, și anume:

— canale colectoare pentru hidroamestec (*a*);

— o stație de pompe Bagger, necesare transportului hidroamestecului în depozit (*b*);

— bazine de decantare cu pompe de preaplin (*c*), în vederea separării apei de masa solidă a zgurii din amestec;

— agregate de alimentare a benzilor de transport a zgurii (*d*).

Modul de funcționare a acestor instalații nu afectează siguranța de exploatare a cazanelor.

Prin realizarea volumului de lucrări propus s-ar obține, conform calculului tehnico-economic [3], o economie de circa 35—40 mii tone de combustibil convențional pe an.

În concluzie, pentru utilizarea la maximum a potențialului energetic al lignitului la centralele electrice care îl folosesc drept combustibil de bază, și unde pierderile prin nearse mecanice sînt mari, arderea zgurilor poate deveni o soluție interesantă de reducere a consumurilor specifice, în condițiile concrete ale unor instalații din țara noastră.

Bibliografie

[1] Gheorghiu, Șt. *Cazane de abur.* Editura didactică și pedagogică, București, 1966.

[2] Carabogdan, I. și Pănoiu, N. *Bazele teoretice ale aprinderii și arderii combustibililor solizi.* Editura Academiei R.S.R., București, 1969.

[3] Ionescu, I. și Müller, I. *Experimentări privind arderea zgurilor la un cazan din CET Ișalnița.* Studiu experimental, ICEMENERG, 1975.

[4] Barca, F., Ionescu, D. și Blum, L. *Cercetări chimico-tehnice de cărbuni și zguri în vederea îmbunătățirii condițiilor de preparare și ardere.* Contract Institutul politehnic București, 1974.

[5] Puiu, Gh., Ionescu, I., Barca, F. și Constantin, M. *Cercetări în vederea determinării corecte a pierderilor de căldură prin ardere mecanic incompletă* (q_4, a_{z_g} Q_s^{mc}). Studiu experimental industrial, ICEMENERG, 1974.

[6] Ionescu, I., Puiu, Gh. și Barca, F. *Cercetări privind posibilitatea utilizării zgurii cu valoare combustibilă rezultată de la pîlnia focarului prin măcinare și ardere la CET Ișalnița.* Studiu experimental industrial, ICENERG, 1973.

[7] Ionescu I., Constantin M. și Müller, I. *Cercetări pentru reducerea nearselor prin rearderea zgurii în focar. Eperimentări la un cazan.* ICEMENERG, 1975—1976.

(Articol intrat în redacție la 19 decembrie 1978)

Reducerea consumurilor proprii tehnologice în rețelele electrice

Posibilități de reducere a pierderilor pe liniile de foarte înaltă tensiune, prin reglarea tensiunii funcție de încărcarea liniilor și de condițiile meteorologice

Dr. ing. A. Cristovici *)

După cum este cunoscut din lucrările de specialitate, pierderile corona sînt puternic influențate de condițiile meteorologice și, de asemenea, cresc aproximativ cu pătratul tensiunii. Pierderile prin efect Joule, pentru o anumită sarcină, variază aproximativ invers proporțional cu pătratul tensiunii.

Avînd în vedere aceste legi de variație a pierderilor, se pune problema dacă eventual se poate găsi un minim al pierderilor în funcție de condițiile meteorologice, încărcarea liniilor și nivelul de tensiune. De asemenea, avînd în vedere că nivelul tensiunii nu se poate regla pe fiecare linie în parte, ci trebuie avut în vedere modul de reglaj al tensiunii la nivelul întregului sistem, se pune problema cum se poate aborda problema minimizării pierderilor la nivelul sistemului.

*) Dr. ing. Andrei Cristovici este inginer proiectant principal I la ISPE.

1. Modul de variație a pierderilor corona funcție de condițiile meteorologice

Fără a intra în fenomenele fizice de producere a fenomenului corona, vom observa că din numeroasele măsurători efectuate de laboratoarele de prestigiu [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] sau din măsurătorile efectuate chiar pe linii în funcțiune și pe perioade lungi de timp [8], a rezultat modul de variație a pierderilor corona funcție de condițiile meteorologice.

Cu toate că nu există unanimitate în clasificarea și caracterizarea condițiilor meteorologice, datorită faptului că în toate măsurătorile s-a constatat că pierderile corona cresc în condiții de umezeală și precipitații, majoritatea lucrărilor citate stabilesc o anumită corelație cu intensitatea precipitațiilor. Astfel, în [1] se stabilește o echivalență a diferitelor tipuri de precipitații și intensitatea echivalentă de ploaie măsurabilă în mm/h. Astfel:

	mm/h
— ploaie slabă	0,5
— ploaie medie	4,0
— ploaie intensă	12,7
— zăpadă slabă	0,013
— zăpadă medie	0,65
— zăpadă mare	2,5
— lapoviță, burniță	0,5

Determinînd pierderile corona pentru diferite intensități de ploaie, se poate stabili corelația dintre orice tip de precipitație și pierderile corona. În această categorisire nu se cuprinde categoria de timp de umezeală (fără condens) și nici ceața, întrucît în [4] se menționează că pierderile pe timp de ceață sînt de circa 3 ori mai mari decît pe timp frumos, însă mult mai mici decît pe timp de ploaie.

De altfel se știe că condițiile de ceață sînt foarte greu de definit. Din această cauză, în [4] se enunță ideea că pentru o anumită categorie de timp măsurătorile pot fi determinate într-o plajă de $\pm$ 30%. De asemenea se cunoaște că pe timp de ceață contează foarte mult încărcarea liniei, și anume prin încălzirea suprafeței conductoarelor, efectul ceței se diminuează. Din acest motiv, măsurătorile în laboratoare pe timp de ceață nu s-au publicat, nefiind considerate edificatoare.

În [8] se prezintă măsurătorile multianuale, pe o linie reală. Avînd în vedere că pe o perioadă mai lungă de timp intensitatea ploii este variabilă, se poate admite corelarea pierderilor, pentru o valoare medie a unei categorii de timp.

Chiar în decursul unei ore condițiile de precipitație pot fi foarte variabile; din această cauză se propune luarea în considerație a valorilor medii multianuale. Astfel, categoriile de timp pentru care se determină valorile medii ale pierderilor corona sînt: timp frumos, umezeală peste 90%, ceață, zăpadă uscată, ploaie, zăpadă umedă, chiciură sau polei. Pentru aceste categorii de timp s-au stabilit pierderile corona și o metodă de calcul de determinare a pierderilor corona pentru categoriile de timp stabilite, rezultînd o bună corelație între măsurători și metoda de calcul.

Aplicînd această metodă de calcul pentru liniile de 400 kV tip din țara noastră, rezultă următoarele valori ale pierderilor corona, la tensiunea de 400 kV:

	kW/km
— timp frumos	2,8
— ceață	6,5
— zăpadă	10
— ploaie medie	29
— chiciură, polei	63

Este de remarcat că prin această metodă de calcul, rezultatele obținute concordă foarte bine cu măsurătorile efectuate la Rheinau pe o linie de 400 kV cu secțiunea și coronamentul apropiate de cele din țara noastră.

2. Variația pierderilor pe LEA funcție de încărcare și tensiune

În domeniul uzual de variație a tensiunii pe linie, respectiv 380—420 kV, variația pierderilor corona pentru o anumită categorie meteo poate fi reprezentată prin relația:

$$\Delta P_c = a + bu^2 \qquad (1)$$

Coeficienții a și b s-au determinat prin puncte în intervalul 380—420 kV.

După cum rezultă din relația de mai sus, pierderile corona, pentru o anumită categorie meteo, cresc aproximativ cu pătratul tensiunii.

Pierderile Joule, pe unitate de lungime, pentru o sarcină dată, funcție de tensiune pot fi exprimate prin relația:

$$\Delta P_J = r \frac{S^2}{U^2} \qquad (2)$$

Rezultă că, cu creșterea tensiunii, pierderile prin efect Joule, pentru o sarcină constantă, scad cu pătratul tensiunii, deci cu o tendință inversă față de cazul pierderilor corona. Deci, sub forma cea mai generală, pierderile pe o LEA se pot exprima ca o funcție complexă de forma:

$$\Delta P = f(U,\ S,\ \tau m), \qquad (3)$$

în care τm este starea meteorologică. Considerînd că pentru o anumită stare meteorologică sarcina fiind determinată de regimul de funcționare, se pune problema dacă se poate găsi o valoare a tensiunii, în domeniul admisibil de variație, astfel ca pierderile să fie minime. Deci ca problemă generală, aceasta poate fi formulată ca o problemă de optimizare (minimizare) cu restricții, pentru stări discontinue.

Pentru stabilirea funcției de optimizat este util să se determine o funcție în raport cu o valoare-limită a tensiunii $U = KU_{max}$ (U_{max} = = 420 kV) U fiind în acest caz variabila, iar K putînd lua valori între 0,9 și 1.

Rezultă din relația (1) și (2):

$$\Delta\Delta P = r \frac{S^2}{U^2_{max}} \frac{1 - K^2}{K^2} - bU^2_{max}(1 - K^2) \quad (4)$$

Deci variabila K, pentru valori date ale sarcinii (S) și ale coeficientului de variație funcție de tensiune a pierderilor corona (b), pentru o anumită stare meteo, indică creșterea sau scăderea pierderilor pe linie față de situația în care s-ar funcționa cu tensiunea maximă admisibilă. Pe baza acestei relații se pot determina curbe pentru diferite stări meteo și pentru diferite încărcări ale liniei, care să indice valoarea tensiunii pentru care se obțin pierderi minime.

Aplicînd relația (4), rezultă că în condiții de timp frumos, dacă linia este încărcată la 100 MVA, pentru tensiunea de funcționare de 380 kV se obține o reducere a pierderilor de 1,58 kW/km, față de funcționarea la 420 kV. În schimb, pentru o încărcare de 300 MVA, se obține o reducere a pierderilor de ordinul 1,5 kW/km dacă se funcționează cu tensiunea de 420 kV, în loc de 380 kV.

Dacă aceste valori se raportează la lungimea totală a rețelei de 400 kV, de circa 3000 km, efectul de reglare a tensiunii pentru o categorie de timp frumos poate fi de circa 4,5 MW. Pentru o categorie de timp de ploaie medie, acest efect poate fi de circa 40 MW, pentru o încărcare medie a liniilor de ordinul a 300 MVA și reducere a tensiunii la 380 kV, față de regimul de funcționare cu tensiunea de 420 kV.

Ordinul de mărime al reducerii pierderilor pe liniile de 400 kV arată că operația de reglare a tensiunii funcție de încărcarea rețelei și condițiile meteorologice poate avea un efect economic important.

3. Posibilități și perspective de aplicare operativă a soluției

Din observații multianuale privind condițiile meteorologice din țara noastră, se poate constata că pe teritoriul țării, dacă se elimină zonele de munte (pe care practic nu există decît porțiuni foarte scurte de linii de traversare), s-ar putea defini 3—4 zone cu condiții meteorologice similare. Pentru fiecare zonă meteo se poate stabili lungimea liniilor de 400 kV care sînt afectate de aceleași condiții meteorologice.

Prin sistemul teleinformațional al DEN se poate obține încărcarea fiecărei linii de 400 kV. Făcînd o medie ponderată a încărcărilor pe linii, acestea se pot compara, pe baza relației (4), cu condițiile meteorologice, stabilindu-se un nivel optim de tensiune. Dacă pentru diferitele zone rezultă nivele de tensiune diferite, este necesar ca pe baza unor calcule de regim, care să utilizeze toate sursele de putere reactivă și posibilitățile de reglaj al tensiunii, să se obțină nivelul de tensiune corespunzător unui minim de pierderi.

Desigur, nu este de prevăzut să se facă un reglaj al tensiunii în întreaga rețea de 400 kV în fiecare oră, însă în perioada de timp de cîteva zile în care se prevăd ploi sau timp defavorabil, care conduce la creșterea pierderilor corona, se poate avea în vedere stabilirea unui nivel de tensiune care să conducă la reducerea pierderilor pe ansamblu.

Concluzii

Pierderile pe liniile de 400 kV sînt determinate de o funcție complexă de condiții meteorologice, încărcare și nivel de tensiune, care însă se pretează la o optimizare cu restricții pentru stări discontinue funcție de tensiune. Efectul economic al acestei acțiuni nu este deloc neglijabil.

Este posibilă găsirea unor căi de aplicare operativă a acestei acțiuni, care necesită însă în continuare aprofundarea unor modele globale de conducere a regimului la nivelul sistemului.

Bibliografie

[1] * * * *Edison Electric Institute.* EHV Transmission Line reference book. N.Y., 1968.

[2] Bartenstein, R. și Rachel, E. A. *Die 400 kV Forschungsanlage.* Vol. II, 1958.

[3] Kravcenko, V. D. *Measuring of corona losses on operating 400—500 kV lines.* CIGRE, Paper No. 407, 1962.

[4] Knudsen, N. *Corona loss and radio interference measurements at high-voltage a.c. on test lines in Sweden.* CIGRE, Paper No. 411, 1964.

[5] Burgsdorf. *Corona investigations on extra-high voltage overhead lines.* CIGRE, Report No. 413, 1960.

[6] Bartenstein, R. și Lesche, G. *Measurements of Corona losses and interference levels at the 400 kV research station in Mannheim-Rheinau.* CIGRE, Report No. 402, 1956.

[7] Keilley, R. *Corona power loss and radio interference measurements at 400 kV and 750 kV on Leaterhead experimental line.* CIGRE, Report No. 419, 1966.

[8] Levitov, V. I. și Popkov, V. I. *Poteri moșcinosti i energhii na koronu na provodah linii sverhvisokovo napreajeniia.* Dalnie elektroperedaci 750 kV. Energhiia, Moscova, 1974.

[9] Melnikov, N. S., Roddatis, V. K., Serențis, A. N. *Vozmojnosti snijeniia poteri energhii iz-za koroni na provodah linii 750 kV pulem regulirovaniia napreajeniia.* Dalnie elektroperedaci 750 kV. Energhiia, Moscova 1974.

(Articol intrat în redacție la 8 iulie 1981)

Determinarea sarcinilor nesimetrice limită admise în exploatare de generatoarele şi compensatoarele sincrone

Dr. ing. **L. Preda**
şi ing. **N. Sufleţel** *)

În regulamentul de exploatare tehnică a centralelor şi reţelelor electrice, vol. II — Instalaţii electrice, articolul 2—10, referitor la sarcinile nesimetrice admise în exploatare de generatoarele şi compensatoarele sincrone, are următoarea formulare [3]:

„Funcţionarea generatoarelor şi a compensatoarelor sincrone într-un regim (serviciu) continuu, cu o sarcină nesimetrică, este permisă numai în condiţiile şi în limitele indicate de fabrica constructoare (sau determinate prin probe adecvate).

În lipsa acestor indicaţii, funcţionarea cu sarcina nesimetrică este permisă numai în următoarele condiţii:

— curentul pe faza cea mai încărcată să nu depăşească curentul nominal:

— raportul $\frac{I_{max}-I_{min}}{I_n}$ (I_{max}, I_{min} fiind valoarea cea mai mare şi, respectiv, cea mai mică a curenţilor de pe cele trei faze, citiţi simultan) nu trebuie să fie mai mare de 10% pentru turbogeneratoare sau generatoare antrenate cu motoare Diesel şi 20% pentru hidrogeneratoare sau compensatoare sincrone".

Aşadar, conform [3], dacă curenţii de pe cele trei faze sînt dezechilibraţi, se determină limitele de funcţionare doar cu ajutorul a doi curenţi, cel maxim şi cel minim.

Sînt şi alte prescripţii ce se referă la sarcinile nesimetrice.

Astfel în PE 126/73, art. 2.2.4, referitor la sarcinile nesimetrice ale transformatoarelor şi autotransformatoarelor, se menţionează că încărcarea trebuie să fie egală pe fiecare fază, iar în PE 127/74, art. 5.2.7, referitor la linii electrice aeriene de joasă tensiune, se utilizează ca limită pentru sarcina nesimetrică doar curentul de pe faza cu sarcina mijlocie şi curentul de pe nul.

Din cele de mai sus se constată că nesimetria şi limitele admise ale ei se stabilesc conform RET în funcţie de maximum doi parametri, şi anume la generatoare şi compensatoare sincrone de curentul maxim şi cel minim.

În prefaţa vol. II din RET, M.E.E. solicită propuneri de îmbunătăţire în vederea introducerii progresului tehnic.

Pe baza celor de mai sus, prezentăm, în continuare, o metodologie simplă de determinare a parametrilor nesimetriilor, pe baza cărora se stabilesc, fără erori, limitele admise de funcţionare în exploatare la sarcină nesimetrică, a diferitelor elemente de sistem (inclusiv a generatoarelor şi compensatoarelor sincrone).

Determinarea limitelor admise de funcţionare în exploatare la sarcină nesimetrică a diferitelor elemente de sistem poate fi realizată prin stabilirea gradelor de disimetrie şi asimetrie.

Într-o instalaţie trifazată se definesc [1], [2]:

— gradul de disimetrie, $\varepsilon_i = \frac{I_i}{I_d}$

— gradul de asimetrie, $\varepsilon_h = \frac{I_h}{I_d}$,

unde I_d, I_i, I_h sînt componentele simetrice ale curenţilor dezechilibraţi de pe cele trei faze.

În instalaţiile electrice cu trei conductoare, lipsind componenta homopolară, există numai grad de disimetrie, şi acesta mai este denumit, în acest caz, şi grad de nesimetrie şi se notează cu δ [2].

Componentele simetrice $\underline{I}_d$, $\underline{I}_i$, $\underline{I}_h$ se pot determina funcţie de cei trei curenţi de pe cele trei faze A, B, C (nu pot fi determinate numai cu ajutorul a doi curenţi) [1]:

$$\underline{I}_d = \frac{1}{3}(\underline{I}_A + a\underline{I}_B + a^2\underline{I}_C)$$

$$\underline{I}_i = \frac{1}{3}(\underline{I}_A + a^2\underline{I}_B + a\underline{I}_C) \qquad (1)$$

$$\underline{I}_h = \frac{1}{3}(\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C)$$

În instalaţiile trifazate cu trei conductoare, expresiile analitice ale componentelor simetrice (I_d şi I_i), precum şi gradul de nesimetrie $\left(\delta = \frac{I_i}{I_d}\right)$ pot fi determinate direct şi precis, atît pe cale analitică cît şi grafică, funcţie de valorile efective ale celor trei curenţi [4], [5]. În acest caz, neexistînd conductor de nul, fazorii curenţilor de pe cele trei faze încărcate nesimetric formează un triunghi oarecare. Notînd curentul maxim $I_{max} = a$, curentul mediu $I_{med} = b$ şi curentul minim $I_{min} = c$, rezultă:

$$a \geqslant b \geqslant c.$$

$$\text{Notăm } \frac{b}{a} = p \text{ şi } \frac{c}{a} = q, \qquad (2)$$

$$\text{deci } 1 \geqslant p \geqslant q \geqslant 0$$

*) Dr. ing. Laurian Preda este profesor la Institutul politehnic Iaşi, Catedra electroenergetică; ing. Neculai Sufleţel este inginer-şef la IRE Iaşi.

Expresiile analitice ale componentelor simetrice ale curenților dezechilibrați și a gradului de nesimetrie, în instalații trifazate cu trei conductoare, sînt [4], [5]:

$$|\bar{I}_d| = \frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{a^2+b^2+c^2+\sqrt{3}\sqrt{2a^2b^2+2a^2c^2+2b^2c^2-a^4-b^4-c^4}}$$

$$|\bar{I}_i| = \frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{a^2+b^2+c^2-\sqrt{3}\sqrt{2a^2b^2+2a^2c^2+2b^2c^2-a^4-b^4-c^4}} \quad (3)$$

$$\delta = \frac{|\bar{I}_i|}{|\bar{I}_d|}\,\frac{a^2+b^2+c^2+\sqrt{3}\sqrt{2a^2b^2+2a^2c^2-a^4-b^4-c^4}}{2\sqrt{a^4+b^4+c^4-a^2b^2-a^2c^2-b^2c^2}}$$

sau

$$|\bar{I}_d| = \frac{a}{\sqrt{6}}\sqrt{1+p^2+q^2+\sqrt{3}\sqrt{2p^2+2q^2+2p^2q^2-1-p^4-q^4}}$$

$$\bar{I}_i = \frac{a}{\sqrt{6}}\sqrt{1+p^2+q^2-\sqrt{3}\sqrt{2p^2+2q^2+2p^2q^2-1-p^4-q^4}} \quad (4)$$

$$\delta = \frac{1+p^2+q^2+\sqrt{3}\sqrt{2p^2+2q^2+2p^2q^2-1-p^4-q^4}}{2\sqrt{1+p^4+q^4-p^2-q^2-p^2q^2}}$$

Din cele de mai sus se constată că pentru determinarea gradului de nesimetrie și a componentelor inverse și directe ale curenților, chiar în cazul mai simplu al instalațiilor cu trei conductoare, trebuie cunoscute valorile celor trei curenți dezechilibrați de pe faze ($I_{max}=a$, $I_{med}=b$, $I_{min}=c$), ce formează un triunghi, fiind imposibilă utilizarea numai a două mărimi, cum sînt I_{max} și I_{min}, deoarece un triunghi (aici al fazorilor curenților) nu poate fi determinat cunoscînd doar mărimile a două laturi.

În [4] este dată o nomogramă pentru $\delta = f(p, q)$; $\frac{I_i}{I_{max}} = f(p, q)$; $\frac{I_d}{I_{max}} = f(p, q)$. Așadar, cunoscînd valorile celor trei curenți dezechilibrați a, b, c, se calculează $p = \frac{b}{a}$ și $q = \frac{c}{a}$, iar apoi se citește direct din nomogramă: δ, $\frac{I_i}{I_{max}}$, $\frac{I_d}{I_{max}}$.

Componenta inversă a curentului (I_i) este însă cea care condiționează funcționarea generatoarelor electrice (precum și a altor elemente ale sistemului), impunîndu-se ca I_i/I_{nom} să nu depășească anumite limite (de exemplu $I_i/I_{nom} \leqslant 0{,}2$) [2].

Deoarece utilizarea monogramei [4] este relativ dificilă și interesează în primul rînd componenta inversă a curentului, din relația (4) notînd $\frac{I_i}{a} = \frac{I_i}{I_{max}} = \alpha$ s-a dedus:

$$p = \pm\sqrt{\frac{(1+q^2+3\alpha^2) \pm \sqrt{(1+q^2+3\alpha^2)^2 - 4[0{,}25(6\alpha^2-1)^2+q^4-3\alpha^2q^2-q^2+0{,}75)}}{2}} \quad (5)$$

Pe baza relației (5), cu ajutorul calculatorului s-a trasat nomograma ce o propunem spre utilizare (fig. 1). Ea permite citirea imediată a lui $\alpha = I_i/I_{max}$ pe baza celor trei curenți ce dau abscisa $q = \frac{I_{min}}{I_{max}}$ și ordonata $p = \frac{I_{med}}{I_{max}}$. Cunoscînd curentul nominal (I_n), rezultă:

$$\frac{I_i}{I_n} = \alpha\frac{I_{max}}{I_n}, \quad (6)$$

determinîndu-se astfel, cu ajutorul valorii α găsită cu nomograma din figura 1, dacă este atinsă sau nu limita admisă a nesimetriei (respectiv dacă trebuie sau nu întreruptă funcționarea elementului de sistem considerat).

Utilizarea numai a curentului maxim și a celui minim pentru stabilirea limitei de nesimetrie la generatoare și compensatoare sincrone [3], fără nici o precizare asupra curentului mediu, conduce la erori importante.

Aplicînd acest procedeu [3], curentul mediu poate avea orice valoare cuprinsă între curentul minim și cel maxim;

$$I_{max} \geqslant I_{med} \geqslant I_{min};\ 1 \geqslant p \geqslant q \geqslant 0 \quad (7)$$

Limita de nesimetrie indicată de [3] este:

$$\frac{I_{max}-I_{min}}{I_n} = \begin{cases} 0{,}1 \text{ (turbogeneratoare)} \\ 0{,}2 \text{ (hidrogeneratoare)} \end{cases} \quad (8)$$

deci:

$$\frac{I_{max}-I_{min}}{I_n}=(1-q)\frac{I_{max}}{I_n}=\begin{cases}0{,}1\text{(turbogeneratoare)}\\0{,}2\text{(hidrogeneratoare)}\end{cases} \quad (9)$$

Să analizăm cît este limita reală de nesimetrie calculată cu ajutorul raportului dintre curentul invers și curentul nominal (relația 6), pentru diferite încărcări ale mașinilor cuprinse între 10% și 100% (deci ale raportului $\frac{I_{max}}{I_n}=0{,}1\div 1$), atunci cînd, conform relațiilor (8), (9) [3], credem că avem limitele de nesimetrie de 10% la turbogeneratoare și respectiv 20% la hidrogeneratoare.

Folosind relațiile (9), (7), nomograma din figura 1 și relația (6), rezultă tabelul 1.

Din tabelul 1 se constată că folosind prescripțiile [3], cînd se crede la turbogeneratoare că este atinsă limita de nesimetrie de 10%, în realitate, funcție de valoarea curentului mediu și de gradul de încărcare al mașinii (I_{max}/I_n), avem:

$$\frac{I_i}{I_n}=0{,}057\div 0{,}1$$

deci putem avea o nesimetrie reală doar de 5,7%, și nu de 10%, eroarea maximă fiind de:

$$\varepsilon\%=\frac{0{,}1-0{,}057}{0{,}1}\,100=43\%$$

La hidrogeneratoare (tabelul 1), cînd se crede că este atinsă limita de nesimetrie de 20% [3], în realitate putem avea:

$$\frac{I_i}{I_n}=0{,}057\div 0{,}2$$

Tabelul 1

$\frac{I_{max}-I_{min}}{I_n}$ = **0,1 – turbogeneratoare**; $\frac{I_{max}-I_{min}}{I_n}$ = **0,2 – hidrogeneratoare**

$\frac{I_{max}}{I_n}$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
q (Turbogenerator)	0,9	0,888	0,875	0,857	0,8333	0,800	0,750	0,666	0,500	0
p (Turbogenerator)	1÷0,9	1÷0,888	1÷0,875	1÷0,857	1÷0,833	1÷0.8	1÷0,75	1÷0,666	1÷0,5	1÷0
q (Hidrogenerator)	0,8	0,777	0,750	0,7142857	0,666	0,6	0,5	0,333	0	0
p (Hidrogenerator)	1÷0,8	1÷0,777	1÷0,75	1÷0,714	1÷0,666	1÷0,6	1÷0,5	1÷0,333	1÷0	1÷0
$\alpha=\frac{I_i}{I_{max}}$ (Turbogenerator)	0,07÷0,06	0,08÷0,065	0,09÷0,073	0,1÷0,083	0,115÷0,095	0,140÷0,115	0,18÷0,142	0,245÷0,193	0,5÷0,29	0,57
$\frac{I_i}{I_n}=\alpha\frac{I_{max}}{I_n}$ (Turbogenerator)	0,07÷0,06	0,072÷0,0585	0,072÷0,0584	0,07÷0,0581	0,069÷0,057	0,07÷0,0575	0,072÷0,0568	0,0735÷0,0579	0,1÷0,058	0,057
$\alpha=\frac{I_i}{I_{max}}$ (Hidrogenerator)	0,140÷0,115	0,16÷0,129	0,180÷0,142	0,208÷0,165	0,245÷0,193	0,314÷0,232	0,5÷0,29	0,5÷0,38	0,5	0,57
$\frac{I_i}{I_n}=\alpha\frac{I_{max}}{I_n}$ (Hidrogenerator)	0,140÷0,115	0,144÷0,116	0,144÷0,114	0,1456 0,1155	0,147÷0,116	0,157÷0,116	0,2÷0,116	0,15÷0,114	0,114	0,057

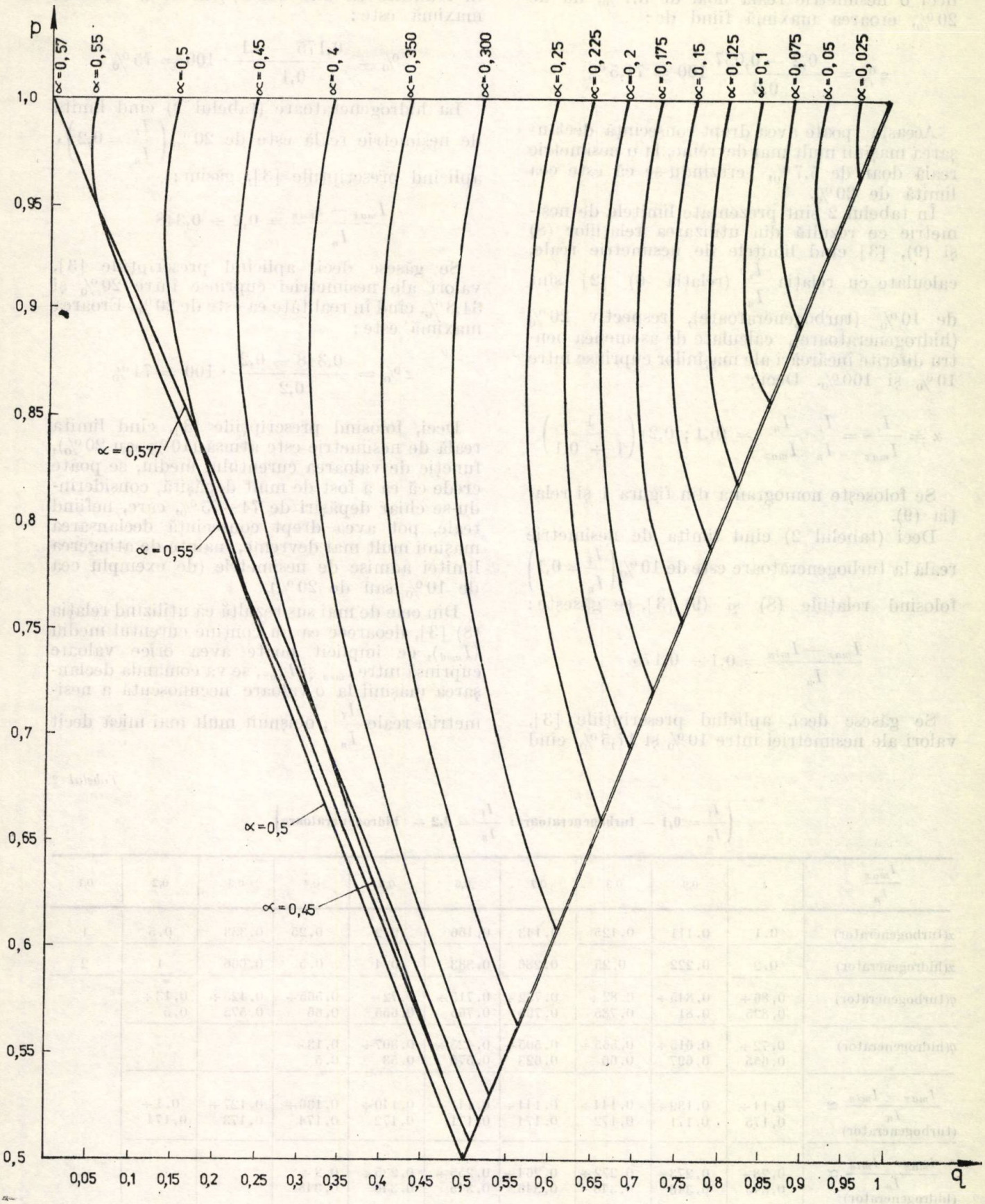

p
q
α = 0,57
α = 0,55
α = 0,5
α = 0,45
α = 0,4
α = 0,350
α = 0,300
α = 0,25
α = 0,225
α = 0,2
α = 0,175
α = 0,15
α = 0,125
α = 0,1
α = 0,075
α = 0,05
α = 0,025
α = 0,577
α = 0,55
α = 0,5
α = 0,45
1,0
0,95
0,9
0,85
0,8
0,75
0,7
0,65
0,6
0,55
0,5
0,05
0,1
0,15
0,2
0,25
0,3
0,35
0,4
0,45
0,5
0,55
0,6
0,65
0,7
0,75
0,8
0,85
0,9
0,95
1

Fig. 1

deci o nesimetrie reală doar de 5,7%, nu de 20%, eroarea maximă fiind de:

$$\varepsilon\% = \frac{0{,}2 - 0{,}057}{0{,}2} 100 = 71{,}5\%$$

Aceasta poate avea drept consecinţă declanşarea maşinii mult mai devreme, la o nesimetrie reală doar de 5,7%, crezîndu-se că este cea limită de 20%.

În tabelul 2 sînt prezentate limitele de nesimetrie ce rezultă din utilizarea relaţiilor (8) şi (9), [3] cînd limitele de nesimetrie reale, calculate cu relaţia $\frac{I_i}{I_n}$ (relaţia 6) [2] sînt de 10% (turbogeneratoare), respectiv 20% (hidrogeneratoare), calculate de asemenea pentru diferite încărcări ale maşinilor cuprinse între 10% şi 100%. Deci:

$$\alpha = \frac{I_i}{I_{max}} = \frac{I_i}{I_n} \cdot \frac{I_n}{I_{max}} = (0{,}1\ ;\ 0{,}2)\left(\frac{1}{1 \div 0{,}1}\right)$$

Se foloseşte nomograma din figura 1 şi relaţia (9).

Deci (tabelul 2) cînd limita de nesimetrie reală la turbogeneratoare este de 10% $\left(\frac{I_i}{I_n} = 0{,}1\right)$ folosind relaţiile (8) şi (9) [3], se găseşte:

$$\frac{I_{max} - I_{min}}{I_n} = 0{,}1 \div 0{,}175$$

Se găsesc deci, aplicînd prescripţiile [3], valori ale nesimetriei între 10% şi 17,5%, cînd în realitate ea este aceeaşi, de 10%. Eroarea maximă este:

$$\varepsilon\% = \frac{0{,}175 - 0{,}1}{0{,}1} \cdot 100 = 75\%$$

La hidrogeneratoare (tabelul 2) cînd limita de nesimetrie reală este de 20% $\left(\frac{I_i}{I_n} = 0{,}2\right)$, aplicînd prescripţiile [3], găsim:

$$\frac{I_{max} - I_{min}}{I_n} = 0{,}2 \div 0{,}348$$

Se găsesc deci, aplicînd prescripţiile [3], valori ale nesimetriei cuprinse între 20% şi 34,8%, cînd în realitate ea este de 20%. Eroarea maximă este:

$$\varepsilon\% = \frac{0{,}348 - 0{,}2}{0{,}2} \cdot 100 = 74\%$$

Deci, folosind prescripţiile [3], cînd limita reală de nesimetrie este atinsă (10% sau 20%), funcţie de valoarea curentului mediu, se poate crede că ea a fost de mult depăşită, considerîndu-se chiar depăşiri de 74—75%, care, nefiind reale, pot avea drept consecinţă declanşarea maşinii mult mai devreme, înainte de atingerea limitei admise de nesimetrie (de exemplu cea de 10% sau de 20%).

Din cele de mai sus rezultă că utilizînd relaţia (8) [3], deoarece ea nu conţine curentul mediu (I_{med}), ce implicit poate avea orice valoare cuprinsă între I_{min} şi I_{max}, se va comanda declanşarea maşinii la o valoare necunoscută a nesimetriei reale $\frac{I_i}{I_n}$, obişnuit mult mai mică decît

Tabelul 2

$\left(\frac{I_i}{I_n} = 0{,}1$ — turbogeneratoare; $\frac{I_i}{I_n} = 0{,}2$ — hidrogeneratoare$\right)$

$\frac{I_{max}}{I_n}$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
α(turbogenerator)	0,1	0,111	0,125	0,143	0,166	0,2	0,25	0,333	0,5	1
α(hidrogenerator)	0,2	0,222	0,25	0,286	0,333	0,4	0,5	0,666	1	2
q(turbogenerator)	0,86 ÷ 0,825	0,845 ÷ 0,81	0,82 ÷ 0,785	0,752 ÷ 0,795	0,715 ÷ 0,765	0,72 ÷ 0,655	0,565 ÷ 0,66	0,425 ÷ 0,575	0,13 ÷ 0,5	
q(hidrogenerator)	0,72 ÷ 0,655	0,615 ÷ 0,697	0,565 ÷ 0,66	0,505 ÷ 0,623	0,425 ÷ 0,575	0,307 ÷ 0,53	0,13 ÷ 0,5			
$\frac{I_{max} - I_{min}}{I_n} \simeq$ (turbogenerator)	0,14 ÷ 0,175	0,139 ÷ 0,171	0,144 ÷ 0,172	0,144 ÷ 0,174	0,141 ÷ 0,171	0,140 ÷ 0,172	0,136 ÷ 0,174	0,127 ÷ 0,173	0,1 ÷ 0,174	
$\frac{I_{max} - I_{min}}{I_n} \simeq$ (hidrogenerator)	0,28 ÷ 0,345	0,273 ÷ 0,346	0,272 ÷ 0,348	0,264 ÷ 0,346	0,255 ÷ 0,345	0,235 ÷ 0,346	0,2 ÷ 0,348			

cea reală (eroarea maximă posibilă fiind de peste 70%).

Ţinînd seama de cele de mai sus, propunem, pentru toate elementele instalaţiilor cu trei conductoare, determinarea exactă a nesimetriei reale (I_i/I_n) cu ajutorul celor trei curenţi, folosind nomograma dată (fig. 1) şi metoda prezentată. Limitele admisibile ale nesimetriei trebuie stabilite pentru fiecare tip de instalaţie în funcţie de raportul dintre curentul invers şi cel nominal (I_i/I_n).

Concluzii

1. Determinarea sarcinilor nesimetrice limită admise în prezent în exploatare de generatoarele şi compensatoarele sincrone se face utilizîndu-se numai valorile curenţilor maximi şi minimi, nefolosindu-se şi curentul mediu [3]. Componenta inversă a curentului este însă cea care condiţionează limita de funcţionare posibilă a generatoarelor şi compensatoarelor sincrone (precum şi a altor elemente ale sistemului), şi, în cazul instalaţiilor cu trei conductoare, ea poate fi determinată numai dacă sînt cunoscute valorile tuturor celor trei curenţi [4], [5]. Metoda indicată în [3] poate conduce la erori de peste 70% în determinarea sarcinii nesimetrice şi, ca urmare, la comanda declanşării maşinii la o sarcină nesimetrică reală mult mai redusă decît cea permisă.

2. Se prezintă o metodă de determinare fără erori a sarcinii nesimetrice reale în instalaţii cu trei conductoare, folosind valorile celor trei curenţi dezechilibraţi (I_{max}, I_{med}, I_{min}) şi nomograma, evitîndu-se astfel deconectările eronate ale instalaţiilor la sarcini nesimetrice reale mult sub limitele pe care ele le pot admite.

Bibliografie

[1] Antoniu, I. S. *Bazele electrotehnicii.* Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1974.

[2] Arie, A. şi Carabulea, A. *Metode pentru remedierea nesimetriei în reţelele electrice.* I.D.T., Bucureşti, 1963.

[3] * * * M.E.E. *Regulament de exploatare tehnică a centralelor şi reţelelor electrice* — PE 130—71, vol. II, ICEMENERG, Bucureşti, 1978, p. 443—444.

[4] Preda, L. şi Voinea, E. *Determinarea componentelor simetrice în instalaţiile electrice din centralele electrice cu ajutorul abacelor.* În: Energetica nr. 6, 1973.

[5] Preda, L. *Sur la détermination des composantes symétriques par voie analytique dans un réseau triphasé à trois conducteurs.* În: Bul. I.P.I. Tom XIV (XVIII), fasc. 3—4, 1968.

(Articol intrat în redacţie la 12 august 1981)

Aspecte ale determinării supratensiunilor la conectarea în gol a unei linii electrice aeriene de 400 kV

Dr. ing. **Radu Enache** *)

Factorul determinant al izolaţiei la liniile de transport al energiei electrice de foarte înaltă tensiune îl constituie supratensiunile interne, mai ales cele de comutaţie. Avînd în vedere necesitatea coordonării pe baze statistice a izolaţiei, s-au determinat, cu ajutorul unui program la calculator numeric, caracteristicile statistice ale supratensiunilor fază-pămînt şi fază-fază la conectarea în gol a unei linii electrice aeriene de 400 kV şi 195 km lungime, din sistemul electroenergetic românesc.

1. Determinarea supratensiunilor

În vederea obţinerii caracteristicilor statistice ale supratensiunilor la conectarea în gol a liniei, s-a utilizat metoda de calcul analitică, care consideră linia un cvadripol cu constante concentrate [1]. S-a presupus sistemul simetric şi s-au neglijat pierderile şi influenţele între faze. Determinarea supratensiunilor considerînd linia electrică un element cu parametri uniform distribuiţi este mai precisă, dar pentru analiza aspectelor statistice aceasta nu are o importanţă deosebită.

Considerîndu-se schema echivalentă din figura 1, s-a determinat analitic variaţia tensiunii la capătul în gol al acesteia, respectiv la bornele capacităţii C. Variaţia tensiunii la conectare, la bornele capacităţii C, este:

$$u_c(t) = \frac{E}{C\omega Z}\left\{\sin(\omega t + \psi - \varphi) - e^{-\delta t}\cdot\left[\frac{\sin(\Omega_0 t+\alpha)\sin(\psi-\varphi)}{\sin\alpha} + \frac{\omega}{\Omega_0}\sin\Omega_0 t\cos(\psi-\varphi)\right]\right\} \quad (1)$$

unde s-a presupus că închiderea întreruptorului are loc la momentul $t = 0$.

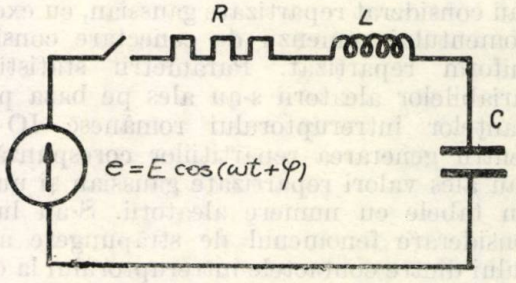


Fig. 1. Schema echivalentă a liniei.

*) Dr. ing. Radu Enache este şef de lucrări la Facultatea de electrotehnică, Institutul politehnic Bucureşti.

În relația de mai sus

ψ este defazajul tensiunii la $t = 0$;
δ — factorul de atenuare;
ω_0 — pulsația de rezonanță.

$$\delta = \frac{R}{2L}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}; \quad \Omega_0 = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2};$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\Omega_0}{\delta}$$

Deoarece s-au neglijat pierderile ($R = 0$), relația (1) devine:

$$u_c(t) = \frac{E}{C\omega Z}\left\{\cos(\omega t + \psi) - \right.$$

$$\left. - \left[\cos \omega_0 t \cos \psi - \frac{\omega}{\omega_0} \sin \omega_0 t \sin \psi\right]\right\} \quad (2)$$

Cu relația (2) s-au determinat supratensiunile fază-pământ. Cele fază-fază au fost obținute făcîndu-se diferența dintre regimurile tranzitorii scrise cu relația (2) pentru fazele respective.

Fazele tensiunii la care are loc conectarea s-au determinat [2] însumîndu-se efectul următoarelor variabile aleatorii: momentul comenzii de conectare; timpul de închidere mecanică a contactelor unei faze; dispersia între camerele unei faze; dispersia între fazele întreruptorului; rigiditatea dielectrică a uleiului din camerele întreruptorului; tensiunea de străpungere a spațiului dintre contactele întreruptorului; variația tensiunii la bare; variația tensiunii la bare datorită prezenței regimului deformant. Variabilele aleatorii avute în vedere s-au considerat repartizate gaussian, cu excepția momentului comenzii de conectare considerat uniform repartizat. Parametrii statistici ai variabilelor aleatorii s-au ales pe baza performanțelor întreruptorului românesc IO—400. Pentru generarea repartițiilor corespunzătoare s-au ales valori repartizate gaussian și uniform din tabele cu numere aleatorii. S-au luat în considerare fenomenul de străpungere a spațiului dintre contactele întreruptorului la conectare și caracterul statistic al acestuia. Pe această bază s-au determinat 120 de unghiuri de conectare pe cele trei faze, număr considerat suficient pentru o analiză statistică semnificativă [3].

Pe baza acestor considerente s-a elaborat un program la calculator numeric. S-au calculat supratensiunile pentru 2 ms, durată acoperitoare pentru identificarea valorii maxime, efectuîndu-se pentru fiecare unghi de conectare considerat cîte 20 000 de calcule, la intervale de 10^{-4} ms. Practic, s-a generat la calculator variația în timp a supratensiunii, determinîndu-se amplitudinea, timpul de atingere a valorii maxime, panta și durata frontului supratensiunilor fază-fază și fază-pământ. S-a corectat ipoteza care considera pierderile nule ($R = 0$), introducînd coeficientul:

$$K_p = \frac{1}{2}\left(1 + e^{-\frac{\delta T}{2}}\right) \quad (3)$$

unde T este perioada oscilațiilor proprii, $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$. S-a considerat că influențele reciproce între faze determină o majorare de 15% a amplitudinii supratensiunilor.

Pentru mărimile considerate, s-a verificat, cu testul iterațiilor, caracterul aleatoriu al selecțiilor obținute. Aplicîndu-se testul semnelor, s-a verificat omogenitatea selecțiilor pe cele trei faze, iar cu statisticile lui Dixon s-a analizat dacă există date care diferă semnificativ de celelalte date. Pentru verificarea ipotezelor de repartiție gaussiană s-au aplicat testele X^2, Kolmogorov, Massey și cele bazate pe coeficienții β, considerîndu-se mai multe praguri de semnificație α. În ipoteza repartiției gaussiene, s-au estimat parametrii statistici. S-au studiat corelațiile statistice între diferitele mărimi aleatorii.

2. Analiza statistică a supratensiunilor

Amplitudinea supratensiunilor. S-au verificat atît caracterul aleatoriu al rezultatelor obținute, cît și caracterul omogen al selecțiilor de date pe cele trei faze. Nu au fost identificate date care să difere semnificativ de celelalte.

Testele X^2 și Kolmogorov au verificat, pentru pragurile de semnificație α considerate, ipoteza repartiției gaussiene. În cazul supratensiunilor fază-fază, testele bazate pe coeficienții β pun în evidență o asimetrie și o boltire semnificative, pentru $\alpha = 0{,}01$ și $0{,}005$. La supratensiunile fază-fază, pentru $\alpha = 0{,}05$, testul X^2 respinge ipoteza repartiției gaussiene. Testele bazate pe coeficienții β pun în evidență o boltire semnificativă pentru pragurile de semnificație α considerate. În ipoteza repartiției gaussiene, estimarea parametrilor conduce la rezultatele din tabelul 1.

Timpul de atingere a valorii maxime a supratensiunilor. S-a verificat caracterul aleatoriu al rezultatelor și caracterul omogen al selecțiilor obținute pe cele trei faze. Nu s-au evidențiat date care să difere semnificativ de celelalte.

În cazul supratensiunilor fază-pământ, testul Kolmogorov verifică, iar testul X^2 respinge, pentru mai multe praguri de semnificație α, ipoteza repartiției gaussiene. În ceea ce privește supratensiunile fază-fază, testul Kolmogorov, pentru pragurile de semnificație α și X^2, pentru $\alpha = 0{,}001$, verifică ipoteza de repartiție gaussiană. Pentru $\alpha = 0{,}01$ și $\alpha = 0{,}05$ testul X^2 respinge ipoteza repartiției gaussiene.

Tabelul 1

Fazele	Valoarea medie		Abaterea medie pătratică		
	Amplitudinea				
	[kV_{max}]	[v.r.]	[kV_{max}]	[v.r.]	[%]
1	640,95	1,654	96,24	0,248	15,02
2	697,45	1,799	104,95	0,271	15,05
3	651,03	1,680	101,21	0,261	15,55
1, 2, 3,	663,14	1,711	103,02	0,266	15,54
1—2	940,92	2,428	385,26	0,994	40,95
2—3	821,40	2,119	455,07	1,174	55,40
1—2, 2—3	881,14	2,273	423,23	1,092	48,03

În ipoteza repartiției gaussiene, estimarea parametrilor conduce la rezultatele din tabelul 1.

Panta supratensiunilor a fost considerată raportul dintre supratensiunea maximă și diferența între timpul de atingere a valorii maxime și ultimul moment de trecere prin zero a tensiunii.

S-au verificat caracterul aleatoriu și omogenitatea selecțiilor obținute pe cele trei faze. Analizînd însă datele obținute, s-a remarcat că se formează trei grupe de rezultate, statisticile lui Dixon punînd în evidență că valorile cele mai apropiate din celelalte grupuri de date diferă semnificativ de grupul respectiv.

În cazul supratensiunilor fază-pământ rezultatele s-au grupat astfel: 72 în intervalul [38,33; 283,81]; 31 în intervalul (283,81; 831,18]; 17 în intervalul (831,18; 2821,94]. Testele X^2 pentru primele două grupuri de date și Kolmogorov pentru toate trei verifică ipoteza repartiției gaussiene pentru mai multe praguri de semnificație α. Testele bazate pe coeficienții β indică pentru primele două grupuri prezența unor asimetrii semnificative. Pentru cel de-al treilea grup de date, testul Massey respinge ipoteza repartiției gaussiene, pentru mai multe praguri de semnificație α.

La supratensiunile fază-fază, statisticile lui Dixon indică faptul că valoarea 8025,26 kVmax./

Fazele	*Timpul de atingere a valorii maxime*		
	[μs]	[μs]	[%]
1	979,0	608,8	62,16
2	1052,0	575,0	54,66
3	976,2	643,6	65,93
1, 2, 3,	1002,5	605,7	60,42
1—2	978,9	600,9	61,39
2—3	849,5	559,3	65,84
1—2, 2—3	918,0	578,3	62,99
Fazele	*Durata frontului*		
	[μs]	[μs]	[%]
1	287,24	—	—
2	348,67	—	—
2	463,08	—	—
1, 2, 3,	366,3	382,2	104,34
1—2	399,49	—	—
2—3	284,68	—	—
1—2, 2—3	342,08	285,97	83,59
Grupele de date	Panta		
	[kV_{max}/zecimi de ms]	[kV_{max}/zecimi de ms]	[%]
[38,33; 283,81]	143,51	68,41	47,67
(283,81; 831,18]	561,59	94,16	16,77
(831,18; 2821,94]	2275,40	305,31	13,42
[28,17; 473,30]	194,91	112,01	57,47
(473,30; 1091,66]	848,78	186,85	22,01
(1091,66; 4231,82]	3068,67	951,49	31,01

zecimi de ms diferă semnificativ de celelalte date şi în consecinţă a fost eliminată.

Analizînd datele rămase, rezultatele sînt grupate astfel: 53 în intervalul [28,17 ; 473,30] ; 12 în intervalul (473,30 ; 1091,66] ; 12 în intervalul (1091,66 ; 4231,82]. Pentru primele două grupuri, testul Kolmogorov şi X^2 (pentru $\alpha = 0{,}01$ şi 0,001) acceptă ipoteza repartiţiei gaussiene. Pentru primul grup, testul X^2, pentru $\alpha = 0{,}05$, respinge ipoteza repartiţiei gaussiene. Pentru cel de-al doilea, testul Massey verifică ipoteza repartiţiei gaussiene. Pentru grupul al treilea, pentru pragul de semnificaţie $\alpha = 0{,}01$, testul Massey verifică ipoteza repartiţiei gaussiene, iar pentru $\alpha = 0{,}05$ o respinge. În ipoteza unor repartiţii gaussiene, estimarea parametrilor conduce la rezultatele din tabelul 1.

Durata frontului supratensiunilor a fost considerată de la ultima trecere prin zero a undei de supratensiune. S-au verificat caracterul aleatoriu şi omogen al rezultatelor obţinute pe cele trei faze. În cazul supratensiunilor faza-pămînt, pentru $\alpha = 0{,}005$ nu s-au obţinut date care să difere semnificativ de celelalte. Pentru $\alpha = 0{,}05$ şi $\alpha = 0{,}01$, valorile mai mari de 741,6 μs diferă semnificativ de celelalte date. Pentru ansamblul datelor obţinute, testul X^2 a respins, pentru mai multe praguri de semnificaţie α, ipoteza repartiţiei gaussiene. Testul Kolmogorov a verificat însă această ipoteză.

În ceea ce priveşte supratensiunile fază-fază, pentru pragul de semnificaţie $\alpha = 0{,}05$, valorile peste 587 μs diferă semnificativ de celelalte date. Pentru ansamblul rezultatelor, testul X^2 a respins ipoteza repartiţiei gaussiene, pentru mai multe praguri de semnificaţie α. Testul Kolmogorov verifică, pentru pragurile de semnificaţie considerate, ipoteza repartiţiei gaussiene. În ipoteza repartiţiei gaussiene, estimarea parametrilor conduce la rezultatele din tabelul 1.

3. Corelaţia dintre mărimile caracteristice ale supratensiunilor

Calculul coeficienţilor de corelaţie liniară evidenţiază prezenţa unor corelaţii semnificative între panta supratensiunilor faza-pămînt, fază-fază şi amplitudinea acestora.

Tabelul 2

Coeficientul de corelaţie	Tensiunea faza-pămînt			Tensiunea fază-fază	
Fazele	1	2	3	1—2	2—3
Timpul de atingere a valorii maxime	0,4186	0,0076	0,1811	0,1338	0,1390
Panta	0,3995	0,4774	0,3793	0,3052	0,3647

Nu se evidenţiază corelaţii liniare semnificative nici între supratensiunile fază-fază şi cele faza-pămînt, şi nici între amplitudinea supratensiunilor, timpii de atingere a valorilor maxime şi faza de conectare.

Studiul corelaţiei de grad superior [7] pune în evidenţă existenţa unei corelaţii semnificative, pentru toate pragurile de semnificaţie α, între supratensiunile faza-pămînt, fază-fază şi timpul de atingere a valorii maxime (tabelul 3). Coeficienţii de corelaţie se încadrează în intervalele de încredere determinate. Curbele de regresie sînt:

$$Y = U_i\,;\quad X = T_i$$

$$Y = 753{,}76392 - 17{,}40030\ x + 0{,}45003\ x^2 - 0{,}00465\ x^3 + 0{,}00002\ x^4 - 0{,}00001\ x^5$$

$$Y = U_{ij}\,;\quad X = T_{ij}$$

$$Y = 1090{,}07349 - 71{,}94341\ x + 2{,}61544\ x^2 - 0{,}03509\ x^3 + 0{,}00020\ x^4 - 0{,}00001\ x^5$$

Abaterile medii pătratice de la curbele de regresie sînt 159,454 şi 671,1746 kV_{max}.

Nu se pun în evidenţă corelaţii semnificative între amplitudinile supratensiunilor şi fazele de conectare.

Tabelul 3

	Pragul de semnificaţie α	Pragul de semnificaţie al coeficientului de corelaţie	Coeficientul de corelaţie	Intervale de încredere pentru coeficientul de corelaţie
Tensiunile fază-pămînt U_1, U_2, U_3				
Timpul de atingere a valorii maxime	0,05	0,1947	0,4432	0,2867 0,5766
	0,01	0,2542		0,2341 0,6130
	0,001	0,3206		0,1703 0,6529
η	0,05	0,1947	0,1598	0,0200 0,3296
	0,01	0,2542		0,0763 0,3789
	0,001	0,3206		0,1420 0,4344
Tensiunile fază-fază U_{1-2}, U_{2-3}				
η_i	0,05	0,2199	0,1344	0,0879 0,3440
	0,01	0,2865		0,1563 0,4038
	0,001	0,3609		0,2352 0,4701
η_j	0,05	0,2199	0,1734	0,0481 0,3787
	0,01	0,2865		0,1171 0,4366
	0,001	0,3609		0,1971 0,5006
Timpul de atingere a valorii maxime	0,05	0,2199	0,3916	0,1881 0,5629
	0,01	0,2865		0,1203 0,6085
	0,001	0,3609		0,0388 0,6576

Concluzii

Parametrii caracteristici ai amplitudinii supratensiunilor fază-fază și fază-pământ, determinați la calculatorul numeric, sînt comparabili cu cei din literatura de specialitate. Supratensiunile fază-fază diferă de cele fază-pământ și nu sînt corelate semnificativ cu acestea, necesitînd luarea lor în considerare de sine stătătoare în ceea ce privește concepția și încercările izolației.

Repartiția supratensiunilor nu este absolut gaussiană, fiind puse în evidență asimetrii și boltiri semnificative.

Timpii de atingere a valorilor maxime și duratele frontului undelor de supratensiune sînt comparabile cu cele din literatura de specialitate [4], [5], [6]. În ceea ce privește valorile pantei, atît la supratensiunile fază-pământ, cît și la cele fază-fază, acestea pot fi considerate ca reuniune a trei grupe de valori, repartizate aproximativ gaussian. Analizînd ansamblul rezultatelor, se observă că supratensiunile și timpii de atingere a valorilor maxime corespunzătoare celor trei grupe de pante au valori medii care cresc și, respectiv, scad o dată cu creșterea valorilor pantei.

Există corelații liniare semnificative ale amplitudinii supratensiunilor fază-pământ și fază-fază cu panta și corelații semnificative de grad superior cu timpul de atingere a valorii maxime.

Avînd în vedere că forma undei de supratensiune influențează tensiunea de ținere a spațiilor de izolație, este necesar, pentru o mai corectă evaluare a acesteia, să se introducă o corecție în funcție de durata frontului.

Repartițiile statistice obținute ale supratensiunilor, împreună cu repartițiile statistice ale tensiunilor de descărcare a izolației, permit determinarea riscului de incident la liniile electrice aeriene de foarte înaltă tensiune.

Bibliografie

[1] Drăgan, G., Miclescu, T., Cristovici, A., Popa, B. și Golovanov, N. *Supratensiuni interne în sistemele electroenergetice.* Editura tehnică, București, 1975.

[2] Enache, R. și Țenovici, R. *Aspecte ale determinării, pe baze statistice, a fazei tensiunii la conectarea unei linii electrice aeriene de înaltă tensiune.* Sesiunea științifică jubiliară a ICEMENERG, iunie 1980.

[3] Fukuda, S., Ozaki, J., Furuno, K., Fukunishi, M., Anjo, K., Taguki, O., Konoshita, H. și Tanaka, A. *Reduction des surtensions de manoeuvre au moyen de resistances placées sur les disjoncteurs dans les réseaux à très haute tension.* CIGRE, 13—04, 1970.

[4] * * * Publication 71—2, *Insulation coordination application guide.* IEE, 1976.

[5] Priest, K. W. Jr. *Impact of surges waveshape and distribution on the prediction of line performance.* În: Electric Power Systems Research 2, 1979.

[6] Foreman, K. F *Magnitude of phase-to-phase switching overvoltages from selected field tests.* Colloquium CIGRE Sc. 33, Londra, 1977.

[7] Enache, R. *Studiul coordonării izolațiilor instalațiilor de înaltă tensiune la supratensiuni interne, pe baze probabilistice.* Teză de doctorat, IPB, 1980.

(Articol intrat în redacție la 4 noiembrie 1980)

Extinderea și creșterea eficienței termoficării

Contribuții la optimizarea funcționării sistemelor de termoficare*)

Ing. **N. Niculescu**
Ing. **M. Voinea**
Ing. **C. Corcodel**
Ing. **S. Lewy**
Ing. **R. Marinescu** **)

În domeniul gospodăririi judicioase a energiei și combustibililor, în ultimii ani au apărut o serie de preocupări vizînd încadrarea consumatorilor în norme de consum fundamentate științific și realizarea unor regimuri de funcționare care să asigure necesitățile acestora cu un apel minim la resursele de energie primară. În acest sens, s-au intensificat activitățile legate de identificarea căilor și mijloacelor posibil a fi adoptate în proiectarea unor regimuri perfecționate și în exploatarea sistemelor de termoficare cu agent termic apă fierbinte. Căutările s-au orientat, în special, spre obținerea celor mai economici parametri de regim și eliminarea supraconsumurilor, respectiv a risipei de combustibil.

În lucrarea de față se face o succintă prezentare a modului de rezolvare a problemelor și a rezultatelor obținute prin analiza schemelor instalațiilor de producere din centralele electrice de termoficare, precum și analiza oportunității și eficienței economice a introducerii stațiilor intermediare de pompare.

Analiza schemelor centralelor electrice de termoficare

La nivelul CET, din punct de vedere al optimizării activității de producere a căldurii, se reliefează următoarele direcții de interes major pentru obținerea unor regimuri performante de funcționare:

— Îmbunătățirea schemelor de funcționare a CET, în sensul utilizării cu maximum de

*) Comunicare prezentată la cea de-a VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din România. Brașov, 4—6 decembrie 1980.

**) Autorii lucrează la ISPE.

eficiență a combustibilului prin maximizarea producției combinate de căldură și energie electrică, corelat cu diminuarea consumurilor proprii tehnologice de energie electrică și căldură pentru producerea, transportul și distribuția căldurii în sistemul de termoficare. Obiectivul propus implică un volum important de analize și calcule comparative între scheme existente sau posibil a fi realizate prin completări și modificări de amploare redusă.

— Verificarea utilizării eficiente a combustibililor în CET și fundamentarea, pe această bază, a oportunității extinderii sursei cu noi capacități de producere a căldurii. Acțiunea vizează analiza de detaliu a profilului și evoluției centralei și a necesarului de căldură și poate antrena importante eforturi de investiții.

— Analiza consumurilor proprii de energie electrică pentru pomparea agentului termic și verificarea oportunității creșterii secțiunilor de trecere, în vederea eliminării eventualelor strangulări și reducerii consumului de energie. Măsura conduce la propuneri concrete și imediate de

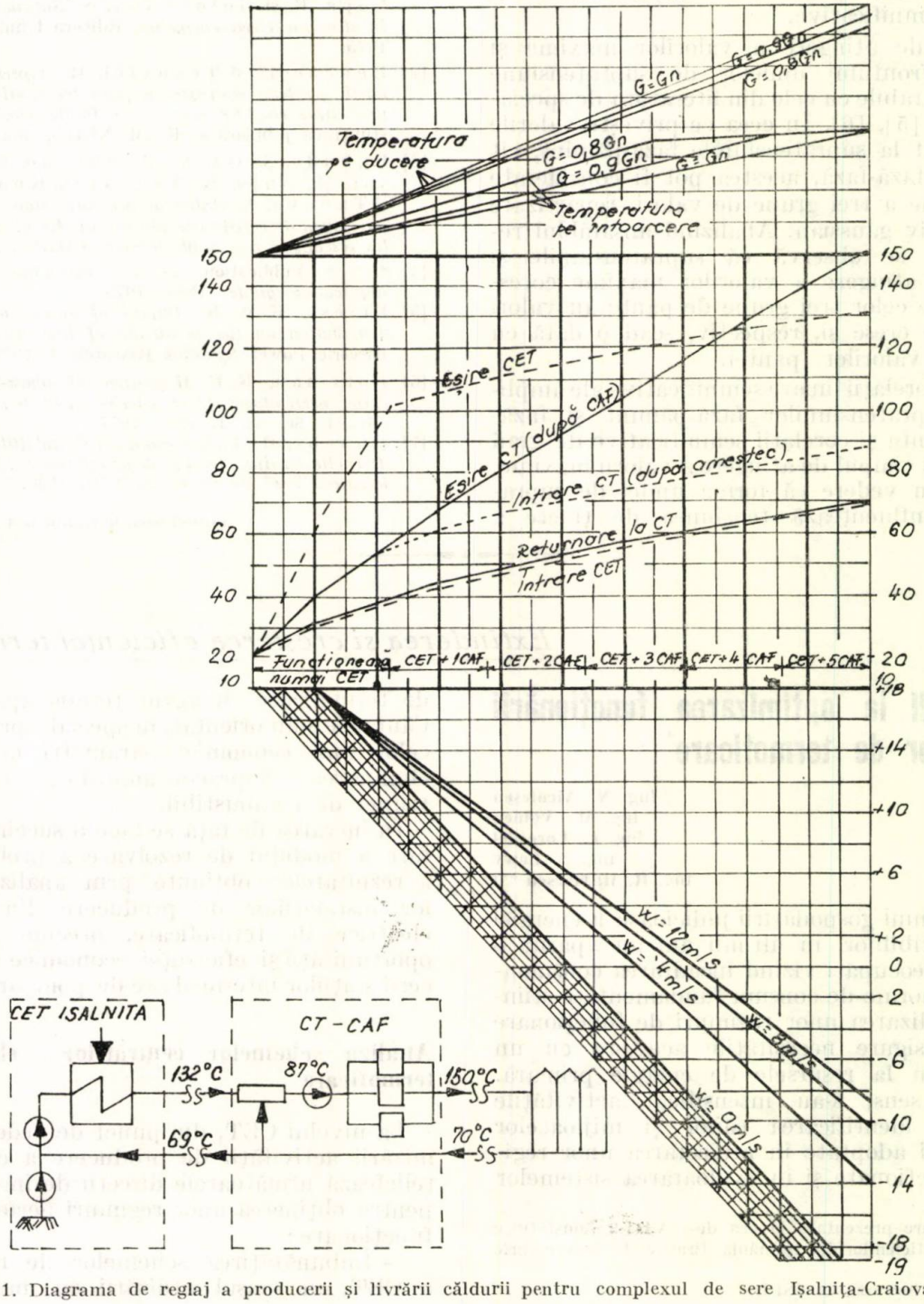


Fig. 1. Diagrama de reglaj a producerii și livrării căldurii pentru complexul de sere Işalnița-Craiova.

investiții relativ scăzute și implicații directe asupra energiei de pompare.

Referitor la cercetările pentru îmbunătățirea schemelor, în scopul optimizării funcționării centralelor electrice de termoficare, se subliniază faptul că CET Ișalnița și Brazi—Ploiești au făcut obiectul unor astfel de examinări de detaliu. În cazul CET Ișalnița [1], s-a determinat diagrama de reglaj a producerii și livrării căldurii pentru complexul de sere legumicole, redată în figura 1, prin care s-a precizat domeniul de funcționare a fiecărui echipament de producere a căldurii. În diagramă sînt prezentate principalele elemente tehnice a căror respectare atrage o funcționare optimizată a ciclului energetic și a capacităților de vîrf (CAF).

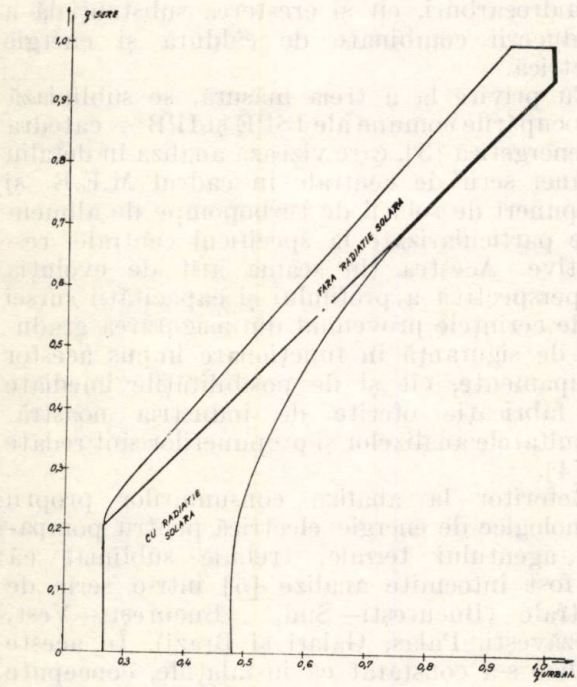


Fig. 2. Domeniul de apariție simultană a sarcinilor relative ale consumatorilor urbani și serelor legumicole.

Premisa de bază în stabilirea regimurilor optimizate de funcționare constă în producerea cu prioritate a căldurii în regim combinat și în utilizarea la maximum a combustibilului inferior — lignitul. Se menționează că specificul sistemului analizat — instalarea CAF și a treptei II de pompare a agentului termic la circa 5 km de CET Ișalnița — conduce la prezența a două regimuri hidraulice și termice independente, dar corelate permanent prin balanța producere — consum de căldură. Se subliniază că această diagramă este valabilă și în prezent, constituind o bază pentru asigurarea celor mai eficiente regimuri de producere și livrare a căldurii aferente complexului legumicol.

În cazul CET Brazi [2] s-au întreprins analize de detaliu asupra schemelor tip de producere și livrare corelată a căldurii pentru consumatorii urbani din municipiul Ploiești, consumatorii industriali din platforma petrochimică Brazi și complexele de sere Bărcănești și Tătărani. La baza analizelor a stat domeniul de variație a sarcinii pentru consumatorii de tip urban-industrial, simultan cu domeniul de variație a sarcinii serelor legumicole (fig. 2). Determinarea schemelor optime de funcționare s-a efectuat pentru situații parametrizate alese în domeniul de variație simultană a sarcinilor, prin calcule tehnico-economice comparative. S-au analizat variante de încărcare a echipamentelor din CET și subvariante de parametri ai agentului termic (debit vehiculat, respectiv temperaturile din conductele de ducere spre consumatorii urbani, industriali și agricoli). Pentru efectuarea acestor calcule s-au elaborat scheme simplificate (fig. 3), pe care s-au precizat toate elementele tehnice necesare realizării în practică a regimurilor de funcționare analizate. Se menționează faptul că pentru acoperirea întregului domeniu de furnizare a căldurii în sezonul de încălzire, calculele de optimizare a schemelor-tip s-au întocmit pentru un număr de 80 variante. În cadrul fiecărei variante și

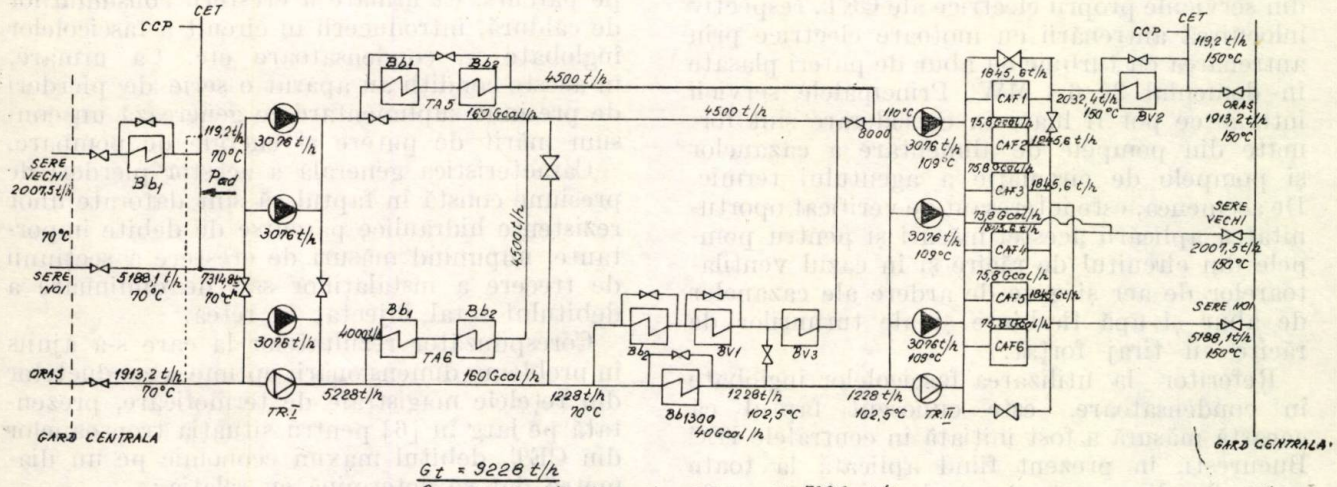


Fig. 3. Schema termică de principiu CET Brazi-Ploiești.

subvariante s-au analizat: consumul de putere și energie electrică de pompare aferente vehiculării agentului termic; structura de producere a căldurii (ciclul de bază; instalații de vîrf) și efectele asupra consumului de combustibil etc. Toate aceste elemente au permis evaluarea indicatorului eficienței economice — cheltuieli anuale de calcul —, care a fundamentat propunerea de funcționare optimă corespunzătoare fiecărei scheme analizate, precum și schema optimă pentru regimurile de furnizare a căldurii spre consumatori.

Se precizează că dezvoltarea centralei Brazi și a consumului urban și industrial racordat în ultima perioadă solicită actualizarea rezultatelor obținute pe baza modului stabilit de punere și rezolvare a problemei optimizării schemelor de producere și livrare a căldurii dintr-o CET care alimentează consumatori urbani, industriali și agricoli. Ținînd seama de cerințele de gospodărire judicioasă a resurselor de energie primară și de importantele economii ce se pot obține prin aplicarea rezultatelor unor astfel de analize, se consideră ca deosebit de eficientă adoptarea măsurii de elaborare periodică a unor astfel de documentații.

Cu privire la verificarea utilizării eficiente a combustibililor în CET, în sensul creșterii ponderii căldurii produse în regim combinat cu energia electrică, este de subliniat oportunitatea creșterii gradului de termoficare externă și internă, prin introducerea în ciclul de bază a noi capacități de producere combinată instalate sau posibil a fi montate și prin menținerea la maximum a acestui mod de producere a căldurii. Acțiunea vizează în principal: trecerea turbinelor cu prize reglabile și condensație, dotate cu fascicol de preîncălzire înglobat în condensator, în regim de funcționare în contrapresiune, cu vid înrăutățit; îmbunătățirea coeficientului de termoficare prin montarea de noi grupuri; schimbarea modului de antrenare a principalelor instalații consumatoare din serviciile proprii electrice ale CET, respectiv înlocuirea antrenării cu motoare electrice prin antrenarea cu turbine cu abur de puteri plasate în domeniul 3—6,4 MW. Principalele servicii interne ce pot fi luate în considerare sînt formate din pompele de alimentare a cazanelor și pompele de circulație a agentului termic. De asemenea, este interesant de verificat oportunitatea aplicării acestei măsuri și pentru pompele din circuitul de răcire și în cazul ventilatoarelor de aer și gaze de ardere ale cazanelor de abur și apă fierbinte și ale turnurilor de răcire cu tiraj forțat.

Referitor la utilizarea fascicolelor înglobate în condensatoare, este cunoscut faptul că această măsură a fost inițiată în centralele IEC București, în prezent fiind aplicată la toate grupurile din aceste centrale și în curs de generalizare completă în celelalte CET ale M.E.E., datorită rezultatelor deosebit de favorabile în economisirea combustibililor.

De mare importanță apare măsura de utilizare rațională a combustibililor în CET prin instalări de noi grupuri, ce îmbunătățesc structura producției anuale de căldură și asigură o creștere rapidă și substanțială a participării combustibililor solizi în producerea de energie electrică și căldură. Un exemplu tipic în acest sens îl constituie CET Progresul București, a cărei concepție se caracterizează prin prevederea numai a părții de bază (4 grupuri), urmînd a funcționa „în comun" cu CET București-Sud. Această soluție oferă atît o utilizare pe scară mare a lignitului în producerea energiei electrice și a căldurii necesare consumatorilor din orașul București și diminuarea apelului la hidrocarburi, cît și creșterea substanțială a producerii combinate de căldură și energie electrică.

Cu privire la a treia măsură, se subliniază preocupările comune ale ISPE și IPB — catedra de energetică [3], care vizează analiza în detaliu a unei serii de centrale în cadrul M.E.E. și propuneri de soluții de turbopompe de alimentare particularizate la specificul centralei respective. Acestea țin seama atît de evoluția în perspectivă a profilului și capacității sursei și de cerințele provenind din asigurarea gradului de siguranță în funcționare impus acestor echipamente, cît și de posibilitățile imediate de fabricație oferite de industria noastră. Rezultatele analizelor și propunerilor sînt redate în [4].

Referitor la analiza consumurilor proprii tehnologice de energie electrică pentru pomparea agentului termic, trebuie subliniat că au fost întocmite analize [5] într-o serie de centrale (București—Sud, București—Vest, Grozăvești, Palas, Galați și Brazi). În aceste analize s-a constatat că instalațiile, concepute inițial pentru un profil considerat optim la vremea respectivă, au avut o altă dezvoltare pe parcurs, ca urmare a creșterii consumurilor de căldură, introducerii în circuit a fascicolelor înglobate în condensatoare etc. Ca urmare, în aceste condiții au apărut o serie de pierderi de presiune suplimentare ce generează un consum mărit de putere și energie de pompare.

Caracteristica generală a acestor pierderi de presiune constă în faptul că sînt datorate unor rezistențe hidraulice parcurse de debite importante, impunînd măsuri de creștere a secțiunii de trecere a instalațiilor sau de diminuare a debitului total injectat în rețea.

Corespunzător rezultatelor la care s-a ajuns în problema dimensionării optime a conductelor din rețelele magistrale de termoficare, prezentată pe larg în [6] pentru situația tronsoanelor din CET, debitul maxim economic pe un diametru dat se determină cu relația:

$$G = 271{,}78 \cdot \Delta I_i (d_i^{-5{,}25} - d_{i+1}^{-5{,}25})$$

unde

I_t este volumul de investiţie necesar lărgirii secţiunii de trecere a tronsonului analizat, lei/m;

$d_{i,i+1}$ — diametrul hidraulic echivalent secţiunii de trecere existente, respectiv lărgite, m.

Luînd în considerare această relaţie de calcul, pentru diametrele folosite frecvent în CET, rezultă debitele maxime, pierderile de presiune specifice maxime şi vitezele de circulaţie maxime redate în tabelul 1.

Tabelul 1

Nr. crt.	D_n mm	d_i mm	G t/h	h_c mmca/m	W m/s
1	500	492,2	891	3,0	1,35
2	600	593,8	1323	2,0	1,20
3	700	695,4	1860	2,0	1,35
4	800	797,0	2521	2,2	1,50
5	900	896,9	3290	2,0	1,60
6	1000	997,0	4161	1,9	1,60
7	1100	1100,0	5285	1,8	1,60
8	1200	1198,0	6338	1,8	1,60

Examinînd valorile din tabelul 1 se constată faptul că pentru conductele din incinta CET este necesar să fie prevăzute secţiuni de trecere corespunzătoare realizării unor viteze maxime cuprinse în domeniul 1,2—1,6 m/s, respectiv obţinerii unor pierderi specifice de presiune de maximum 1,6—2 mm c.a./m.

În baza acestor rezultate, analiza schemelor instalaţiilor din CET menţionate anterior a scos în evidenţă pentru fiecare centrală „locuri înguste", respectiv strangulări a căror eliminare se dovedeşte oportună şi eficientă economic. Ca exemplu se reliefează cazul schemei termomecanice a instalaţiei de termoficare din CET Palas, unde s-a constatat existenţa unor strangulări în conductele de întoarcere şi legături cu diametre diferite la pompele de circulaţie treapta 1.

Soluţiile concrete rezultate din fiecare centrală conduc la economii de energie electrică, de combustibili şi cheltuieli anuale de exploatare, evidenţiate în tabelul 2. Rezultatele totale obţinute atestă valori importante ale economiilor ce pot fi realizate, şi anume: economii anuale de energie electrică de pompare — 9120 MWh/an; economii de combustibili — 3420 t c.c./an; economii de cheltuieli anuale 7690 mii lei/an.

Oportunitatea şi eficienţa economică a introducerii staţiilor intermediare de pompare

Introducerea unor staţii intermediare de pompare (SIP) în sistemele de termoficare constituie o soluţie tehnică care face posibilă creşterea substanţială a distanţelor de transport al căldurii sau preluarea unor zone ce sînt plasate la cote geodezice diferite de restul teritoriului alimentat de sistem. Adoptarea acestei soluţii permite menţinerea parametrilor fizici ce caracterizează un regim normal de funcţionare a reţelei şi instalaţiilor sistemului în limitele uzuale, astfel încît să se evite folosirea unor materiale cu caracteristici superioare pentru realizarea conductelor sistemului şi a echipamentului acestuia.

De asemenea, şi prin prisma reducerii consumurilor de energie de pompare în sistemele de termoficare urbană, fragmentarea acoperirii graficului de repartiţie a presiunilor, corespunzător funcţionării normale a sistemului de termoficare, prin descentralizarea instalaţiei de pompare din CET constituie o posibilitate tehnică de mare interes.

Pentru a evidenţia efectele ce apar în cazul adoptării acestei măsuri, s-a întocmit o analiză de detaliu, luîndu-se în considerare o capacitate a centralei electrice de termoficare de 400, 800, 1200 şi 1600 Gcal/h, corespunzătoare mărimii centralelor de termoficare existente [5].

Analiza oportunităţii realizării SIP s-a întocmit adoptînd următoarele premise:

— dezvoltarea consumului de căldură impune după o perioadă de cinci ani majorarea debitelor vehiculate cu 20, 30 sau 40%, precum şi a necesarului de presiune;

— furnizarea debitului şi necesarului de presiune se examinează în variante, şi anume:

— varianta 1: extinderea capacităţii de pompare din CET pentru creşterea debitului, menţinîndu-se disponibilul de presiune iniţial, şi instalarea de SIP în sistem, dimensionate pentru creşterea de debit şi necesarul suplimentar de presiune;

Tabelul 2

Eficienţa economică a soluţiilor de perfecţionare a schemelor de preparare a apei fierbinţi din CET

Nr. crt.	Centrala	Economia de energie electrică MWh/an	Economia de combustibil lichid t c.c./an	Economia de cheltuieli		
				pentru energia electrică mii lei/an	pentru combustibili mii lei/an	total mii lei/an
1	CET Bucureşti-Sud	5410	2029	1417	3145	4562
2	CET Grozăveşti	610	229	160	355	515
3	CET Bucureşti-Vest	730	274	191	424	615
4	CET Galaţi	850	319	223	494	717
5	CET Brazi	840	315	220	488	708
6	CET Palas	680	255	178	395	373
	TOTAL	9120	3420	2389	5301	7690

— varianta 2 : ipoteza I — extinderea capacității de pompare din CET atît pentru creșterea de debit, cît și pentru necesarul de presiune final; ipoteza II — extinderea capacității de pompare la CET pentru creșterea de debit și mărirea capacității de transport a rețelei, astfel încît să se mențină necesarul de presiune inițial, luîndu-se în considerare lungimi ale magistralelor de transport cuprinse între 3 și 12 km.

În figura 4 se ilustrează calitativ graficele de repartiție a presiunilor aferente variantelor examinate.

Stabilirea oportunității introducerii SIP s-a făcut prin calcule tehnico-economice comparative complete, folosind criteriul cheltuielilor actualizate minime. În calcule s-au considerat valori ale raportului dintre debitul preluat de SIP și debitul total la CET cuprinse între 20 și 40%.

Eficiența tehnico-economică a instalării SIP, determinată prin compararea variantei 1 cu varianta 2 — ipoteza I, este prezentată în figura 5 și, prin compararea variantei 1 cu varianta 2 — ipoteza II, în figurile 6, 7 și 8.

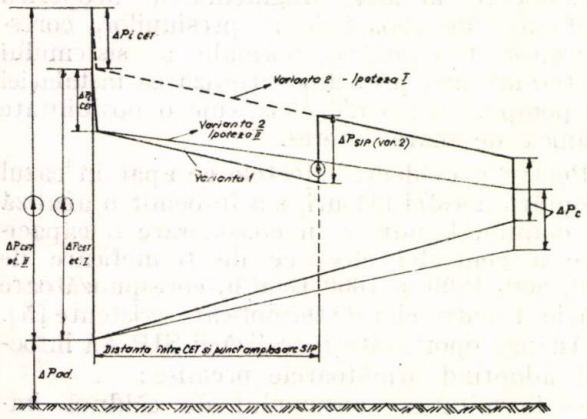


Fig. 4. Graficele de repartiție a presiunii pe etape de dezvoltare a sistemelor de termoficare.

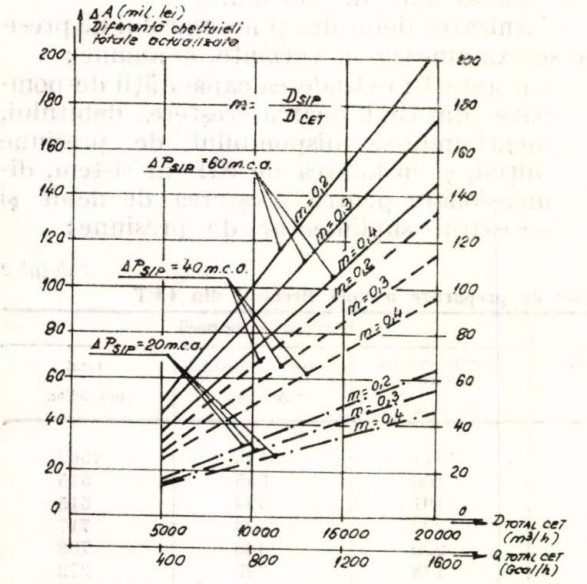


Fig. 5. Eficiența tehnico-economică a instalării SIP comparativ cu varianta 2 — ipoteza I.

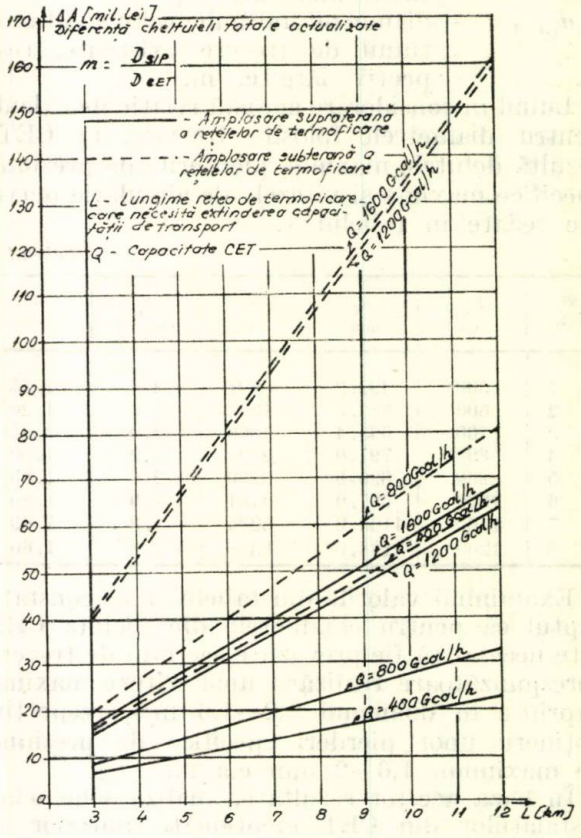


Fig. 6. Eficiența tehnico-economică a instalării SIP comparativ cu varianta 2 — ipoteza II pentru $m = 0,2$.

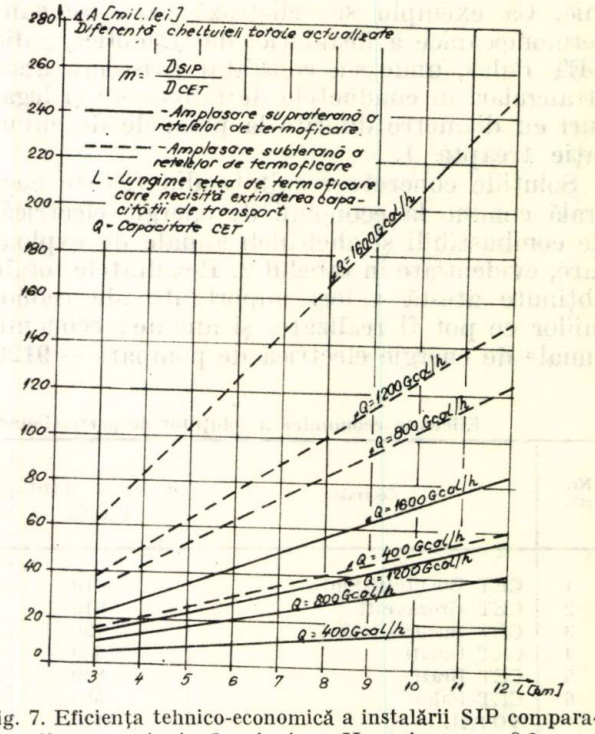


Fig. 7. Eficiența tehnico-economică a instalării SIP comparativ cu varianta 2 — ipoteza II pentru $m = 0,3$.

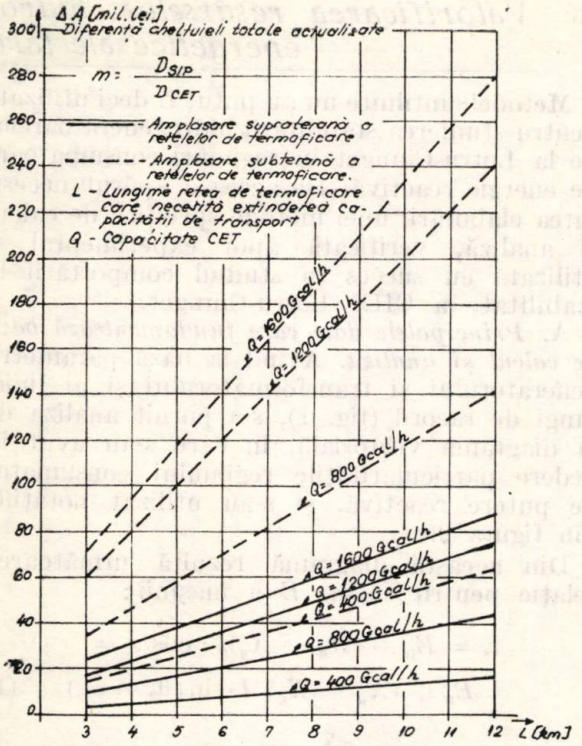


Fig. 8. Eficiența tehnico-economică a instalării SIP comparativ cu varianta 2 — ipoteza II pentru $m = 0{,}4$.

Rezultatele obținute conduc la următoarele concluzii generale:

— Oportunitatea realizării SIP în sistemele de termoficare urbană cu dezvoltare etapizată crește proporțional cu mărimea, la profil final, a sistemului de termoficare.

— Realizarea de SIP în sisteme de termoficare amplu dezvoltate constituie o măsură cu eficiență economică mai ridicată, cu cît se preiau debite mai mici și căderi de presiune mai mari. Situațiile menționate se regăsesc practic în cazul apariției extinderilor în zonele de capăt ale sistemului, prin preluarea unor noi cvartale.

— Pentru stabilirea elementelor de dimensionare a SIP (debit, înălțime de pompare, regim de presiuni), precum și a locului de amplasare în cadrul sistemului, sînt necesare analize în care să se țină seama de elementele concrete ce caracterizează sistemul respectiv, condiții ce pot restrînge aria de aplicabilitate a acestor instalații.

Din punctul de vedere al economiilor de putere și energie de pompare obținute prin introducerea SIP, în comparație cu creșterea capacității de pompare la CET, calculele efectuate au scos în evidență reduceri de ordinul a 200—2700 kW, respectiv 6—12% din puterea de pompare.

Rezultă deci că introducerea SIP este o măsură capabilă să diminueze consumul specific de energie de pompare cu circa 1,5—3,0 kWh/Gcal.

Ca urmare a interesului pe care îl prezintă economiile de putere și energie de pompare ce se obțin în cazul instalării SIP, la ora actuală este prevăzută introducerea acestor echipamente în sistemele de termoficare din București și Constanța și, de asemenea, în extinderea sistemului de termoficare din orașul Timișoara.

Bibliografie

[1] * * * *Regimul hidraulic și termic pentru complexul de sere Ișalnița—Craiova 1974/1975.* ISPE, 1974.

[2]] * * * *Studiu privind introducerea reglajului mixt în sistemul de termoficare cu apă fierbinte Brazi—Ploiești.* ISPE, 1975.

[3] * * * *Optimizarea schemelor de alimentare cu căldură produsă în termoficare a consumatorilor industriali și similari.* ISPE, 1979.

[4] Moțoiu, C., Ionescu, C. și Alexe, Fl. *Turbopompe de alimentare în CET urbane cu unități de putere mare. Fezabilitate, fiabilitate și oportunitate.* A VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor, Brașov, 1980.

[5] * * * *Reducerea consumului propriu tehnologic pentru producerea energiei electrice și pentru producerea căldurii prin termoficare avînd în vedere siguranța în funcționare și reducerea consumului specific net de combustibil în centralele termoelectrice.* ISPE, 1980.

[6] Niculescu, N., David, N., Corcodel, C. și Iordache, M. *Contribuții la optimizarea dimensionării rețelelor de termoficare.* A VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor, Brașov, 1980.

Experiența de exploatare a funcționării hidrogeneratoarelor de la CHE Lotru-Ciunget în regim consumator de putere reactivă

Ing. Em. Mîrzan, ing. V. Șerban, matem. Rodica Popa și ing. I. Dafinca *)

Centrala hidroelectrică de mare putere Lotru-Ciunget, echipată cu trei grupuri Pelton de cîte 170 MW, este concepută să funcționeze, în principal, pentru acoperirea vîrfului curbei de sarcină în cadrul sistemului energetic național.

Schema de principiu prin care grupurile debitează în stația de 220 kV Sibiu este prezentată în figura 1.

Odată cu excedentul de putere reactivă din zona Sibiu, remarcat în special după darea în exploatare a rețelelor de 400 kV, au apărut cerințe tot mai mari din partea Dispecerului energetic de a se funcționa în regimuri consumatoare de putere reactivă.

1. Considerații analitice

1.1. *Metoda de calcul și analiză elaborată și utilizată pentru studiul stabilității în funcționarea unui hidrogenerator conectat la sistem printr-o linie lungă de transport, în condițiile echipării cu RAT* ($U_G = const.$).

Literatura de specialitate consultată [1], [2], [3] tratează stabilitatea statică și dinamică pentru cazul mai simplu al generatoarelor cu poli înecați.

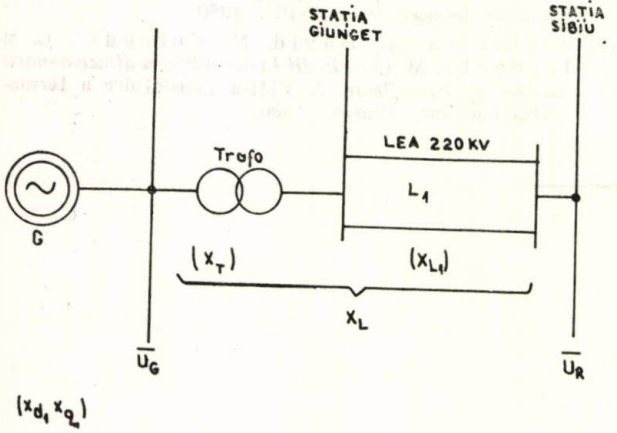


Fig. 1. Schema de principiu a CHE Lotru-Ciunget.

*) Ing. Mîrzan Emil este șeful Compartimentului proiectare tehnologică la IE Rm. Vîlcea; ing. Virgiliu Șerban este inginer șef la Uzina electrică Lotru; ing. Ion Dafinca este inginer stagiar la IE Rm. Vîlcea; matem. Rodica Popa este informatician la IE Rm. Vîlcea.

Metodele întîlnite nu au putut fi deci utilizate pentru studierea stabilității hidrogeneratoarelor de la Lotru-Ciunget în regimuri consumatoare de energie reactivă. De aceea a apărut necesitatea elaborării unei metode specifice de calcul și analiză, verificată apoi experimental și utilizată cu succes în studiul comportării la stabilitate a CHE Lotru-Ciunget.

A. *Principalele date care fundamentează baza de calcul și analiză.* Avînd la bază parametrii generatorului și transformatorului și ai liniei lungi de racord (fig. 1), s-a pornit analiza de la diagrama vectorială, în care s-au avut în vedere particularitățile regimului consumator de putere reactivă, și s-au utilizat notațiile din figura 2.

Din această diagramă rezultă următoarea relație pentru t.e.m. E a mașinii:

$$E = E_0 + (X_d - X_q)I \cdot \cos\alpha = \\ = E_0 + (X_d - X_q)\, I \cdot \sin(\theta_2 - \varphi_2) \qquad (1)$$

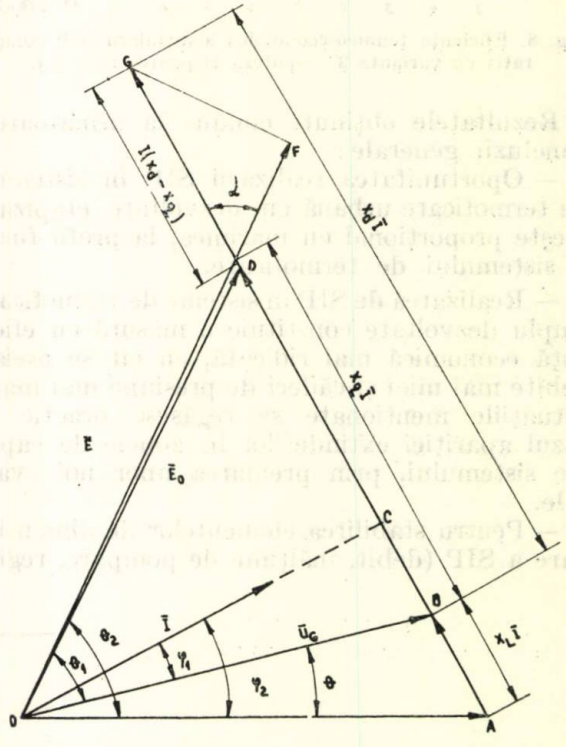


Fig. 2. Diagrama vectorială a unui generator cu poli aparenți, în regim capacitiv, debitînd pe o linie lungă de racord cu sistemul.

E — t.e.m. a mașinii; U_G — tensiunea la bornele generatorului; U_R — tensiunea rețelei (sistemului); θ_1 — unghiul intern al generatorului; θ_2 — unghiul intern global al ansamblului generator — rețea de legătură; X_d — reactanța longitudinală a generatorului; X_q — reactanța transversală a generatorului; X_L — reactanța rețelei de legătură.

B. *Calculul parametrilor statici ai funcționării hidrogeneratorului și determinarea caracteristicilor unghiulare pentru* $E = const.$ Se consideră cunoscuți atît parametrii de funcționare

(puterea activă P, reactivă Q, U_G) cît şi cei ai maşinii şi reţelei (X_d, X_q, X_L).

În anexa 1 se prezintă metodologia de calcul pentru parametrii statici de funcţionare ai hidrogeneratorului. Din aceasta rezultă următoarele:

$$E = \frac{X_d + X_L}{X_q + X_L} E_0 - \frac{X_d - X_q}{X_q + X_L} U_R \cos \theta_2 \quad (2)$$

$$P = m \frac{E \cdot U_R}{X_d + X_L} \sin \theta_2 + m \frac{U_R^2}{2} \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{1}{X_q + X_L} - \frac{1}{X_d + X_L} \right) \sin 2\theta_2 \quad (3)$$

Relaţia (3) defineşte caracteristica unghiulară la barele de racord cu sistemul.

În anexa 2, pct. A, se prezintă parametrii statici de funcţionare, calculaţi cu relaţiile din anexa 1, pentru hidrogeneratorul de la CHE Lotru-Ciunget funcţionînd la $P = 170$ MW; U_G pe fază = 8,95 kV (tensiunea liniei 15,5 kV) şi în diverse regimuri consumatoare de putere reactivă.

În figura 5 sînt reprezentate caracteristicile unghiulare pentru cazul particular în care reglajul excitaţiei se face manual (în lipsa RAT). Calculele s-au efectuat pentru diverse valori ale puterii reactive consumate ($Q = 20$; 80; 120 MVar), iar pentru fiecare dintre aceste valori s-a considerat deci E = const., rezultînd următoarele concluzii:

— capacitatea de supraîncărcare (P_{max}/P_{nom}) este mică (1,02—1,2);

— P_{max} corespunde la un unghi intern θ_2 relativ scăzut (θ_{2max} aproximativ 71°).

C. *Variaţia t.e.m.* E *funcţie de unghiul intern global* θ_2 *în cazul funcţionării cu* U_G = *const. şi aportul RAT la creşterea stabilităţii.* Întrucît generatorul este echipat cu RAT de tip electronic (cu zonă de insensibilitate practic nulă), se admite U_G = const.

Legea de variaţie a lui $E = f(\theta_2)$ este dată de ecuaţia (2) ţinînd seamă de mărimile de bază constante ale maşinii şi trafo (X_d, X_q, X_T) şi avînd ca parametri:

— U_R, care poate varia uneori intempestiv, în trepte destul de mari, în cazul unei avarii de sistem în zona de racord;

— X_L, care se poate modifica, de asemenea, brusc, prin deconectarea uneia dintre cele două LEA puse în paralel (fig. 1).

Întrucît ecuaţia (2) conţine ca mărime intermediară pe E_0 (din fig. 2), se stabileşte mai întîi variaţia acestui termen funcţie de θ_2, conform detaliilor expuse în anexa 3, din care rezultă:

Pot exista următoarele situaţii:

a) Dacă parametrii menţionaţi mai sus (U_R, X_L) rămîn constanţi şi se înlocuieşte E_0 din ecuaţia (4) în (2), rezultă funcţia $E = f(\theta_2)$, care va avea alura din figura 3.

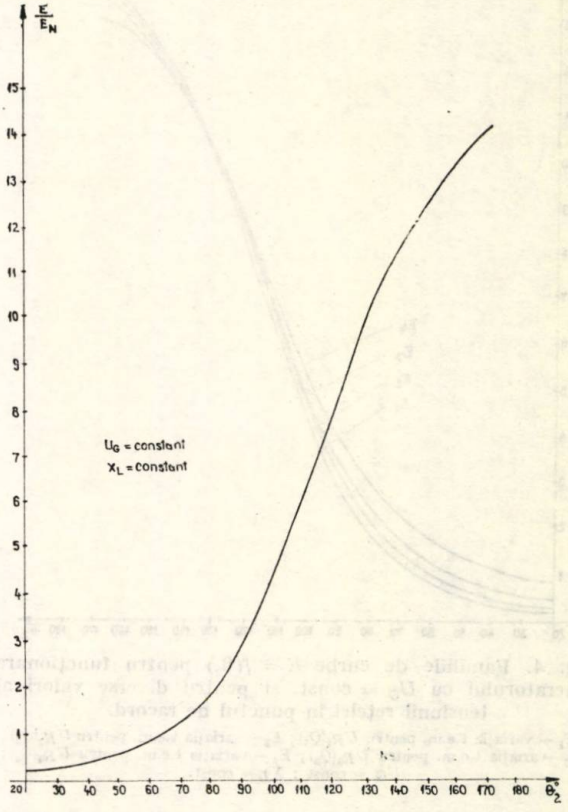


Fig. 3. Variaţia t.e.m. E funcţie de unghiul intern global θ_2, în cazul unui hidrogenerator care dispune de RAT (U_G = = const.), iar racordul la sistem se face printr-o linie lungă de reactanţă X_L.

b) Dacă se iau în consideraţie modificările instantanee ale tensiunii reţelei U_R, fiecărei valori ale acesteia (U_{R1}, U_{R2} etc.) corespunzîndu-i cîte o curbă $E = f(\theta_2)$, rezultă familiile de curbe $E = f(U_R, \theta_2)$, reprezentate în figura 4.

c) Acelaşi fenomen are loc în cazul în care X_L variază intempestiv, ceilalţi parametri rămînînd constanţi, rezultînd $E = f(X_L, \theta_2)$.

Introducînd $E = f(U_R, \theta_2)$ în relaţia lui P dată de ecuaţia (3), rezultă noile caracteristici unghiulare proprii regimului studiat, care au forma din figura 5.

Acestea reprezintă caracteristicile statice artificiale, iar deosebirile lor faţă de caracteristicile unghiulare clasice (prezentate la cap. 1.1, par. B) se datorează în exclusivitate aportului RAT.

$$E_0 = \frac{-\frac{X_L \cdot X_q}{(X_L + X_q)^2} U_R \cos \theta_2 \pm \sqrt{\left[\frac{X_L \cdot X_q}{(X_L + X_q)^2} U_R \cos \theta_2\right] - \left(\frac{X_L}{X_L + X_q}\right)^2 \left[\frac{X_q^2}{(X_L + X_q)^2} U_R^2 - U_G^2\right]}}{\left(\frac{X_L}{X_L + X_q}\right)^2} \quad (4)$$

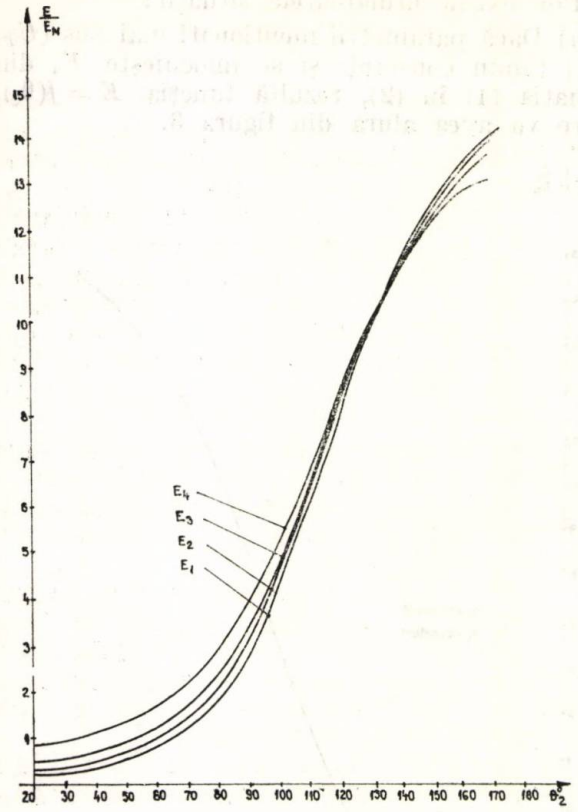


Fig. 4. Familiile de curbe $E = f(\theta_2)$ pentru funcţionarea generatorului cu U_G = const. şi pentru diverse valori ale tensiunii reţelei în punctul de racord.

E_1 — variaţia t.e.m. pentru $U_{R1}(Q_1)$; E_2 — variaţia t.e.m. pentru $U_{R2}(Q_2)$; E_3 — variaţia t.e.m. pentru $U_{R3}(Q_3)$; E_4 — variaţia t.e.m. pentru $U_{R4}(Q_4)$; U_G = const.; X_L = const.

Rezultă că acesta are o influenţă deosebit de favorabilă asupra stabilităţii, întrucît:

— P_{max} se deplasează din zona unghiurilor interne mici ($\theta_{2max} = 70-72°$) în domeniul unor valori mari (de regulă $\theta_{2max} > 110°$).

— P_{max} creşte mult în valoare absolută, ca urmare a creşterii lui E odată cu θ_2, ceea ce face să sporească esenţial capacitatea de supraîncărcare.

1.2. *Calcule de stabilitate a hidrogeneratorului de la CHE Lotru-Ciunget în regim consumator de energie reactivă. Studiu de caz*

În anexa 4 se prezintă rezultatele utilizării metodei expuse la pct. 1.1 pentru studiul stabilităţii hidrogeneratorului de la Ciunget.

Calculele au avut la bază:

— reactanţele maşinii şi ale liniei;

— funcţionarea generatorului cu RAT pe automat, corespunzător tensiunii la borne de 15,41 kV (respectiv $U_G = 8{,}9$ kV pe fază);

— funcţionarea cu $P = 170$ MW = const.

Studiul de caz a pornit de la situaţia reală existentă înaintea unei avarii, cînd generatorul consuma putere reactivă $Q = -20$ MVar (valoare uzuală).

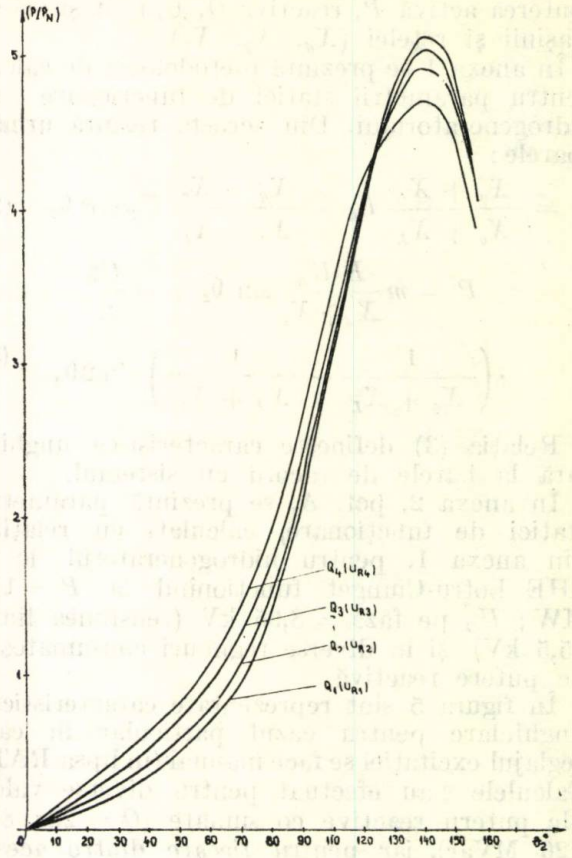


Fig. 5. Curbele stabilităţii statice artificiale pentru un hidrogenerator care funcţionează cu U_G = const. şi pentru diverse valori ale tensiunii reţelei în zona de racord.

U_G = const.; X_L = const.

S-au luat ca ipoteze de avarie variaţiile intempestive ale tensiunii U_R (în staţia Sibiu în două trepte):

— $\Delta U_R \simeq 5\%$, situaţie în care rezultă din calcul că generatorul se subexcită automat de la un regim corespunzător lui $Q = -20$ MVar la $Q = -80$ MVar (pentru a consuma excedentul de putere reactivă de 60 MVar apărut în zonă).

— $\Delta U_R \simeq 8{,}5\%$, corespunzător consumării unui excedent de 100 MVar, respectiv de la $Q = -20$ MVar la $Q = -120$ MVar.

În figura 7 *b* sînt reprezentate caracteristicile unghiulare (artificiale) pentru situaţia normală ($Q = -20$ MVar) şi pentru cele două cazuri de avarie ($Q = -80$ şi $Q = -120$), iar figurile 8 şi 9 prezintă domeniile de pendulare ale puterii active datorate creşterilor intempestive ale tensiunii din staţia Sibiu [4].

Cazul al doilea (pentru $\Delta U \simeq 8{,}5\%$) a corespuns unei situaţii de avarie reală înregistrată în aprilie 1979. Domeniul de pendulaţie măsurat şi înregistrat în perioada avariei a fost foarte apropiat de cel rezultat din calcul (P_{max} aprox. 243 MW, P_{min} aprox. 110 MW). Rezul-

tatele calculului demonstrează că rezerva de stabilitate, determinată de capacitatea de suprаîncărcare, a fost foarte bună.

2. Determinări experimentale

2.1. *Măsurători privind stabilitatea statică și dinamică*

Au fost efectuate determinări experimentale pe rînd cu toate grupurile [6], [5], privind stabilitatea acestora la funcționarea în regim consumator de putere reactivă; astfel:

A) Pentru determinarea stabilității statice a unui grup debitînd pe un singur circuit al LEA 220 kV, au fost efectuate măsurătorile prezentate în tabelul 3. Limita stabilității statice nu s-a atins însă, întrucît, la un consum de putere reactivă de 80 MVar, U_G a scăzut la 13,25 kV, iar curentul statoric a depășit 8200 A, astfel încît generatorul a declanșat prin protecția de suprasarcină. Se menționează însă că generatorul poate funcționa stabil și la un consum mai mare de 80 MVar (anexa 4) dacă U_G este mai mare.

B) Determinarea limitei de stabilitate statică la funcționarea cu două grupuri în paralel debitînd 170 MW pe un singur circuit al LEA s-a efectuat prin dezexcitarea simultană manuală a acestora. Limita stabilității s-a atins la circa — 44 MVar pe fiecare agregat.

C) Pentru funcționarea centralei cu toate cele trei grupuri încărcate la o putere activă apropiată de cea nominală, debitînd pe ambele LEA în paralel, au rezultat următoarele concluzii:

a) Ultimul regim stabil a fost înregistrat la $P = 170$ MW și $Q = -40$ MVar pe fiecare hidroagregat, în condițiile în care U_G a scăzut la 13,6 kV. În tabelul 4 și figura 10 se prezintă o verificare prin calcul, din care rezultă că în cazul parametrilor de funcționare sus-menționați grupurile se apropie de limita stabilității.

Regimul static instabil s-a atins experimental prin dezexcitarea în continuare a grupurilor pînă la $Q = -50$ MVar.

b) Pentru $P = 155$ MW și $Q = +30$ MVar pe fiecare grup (cu RAT în funcțiune) s-a dezexcitat brusc HA2 pînă la $Q = -70$ MVar, în vederea analizării stabilității dinamice. Fenomenele înregistrate au fost următoarele:

— U_G la HA2 a scăzut de la 16,3 kV la 15 kV;

— P și Q la HA2 au înregistrat pendulații amortizate rapid;

— U_R din stația Ciunget a scăzut de la 235,3 kV la 229 kV;

— U_G la HA1 și HA3 nu a înregistrat o scădere semnificativă (U_G = aprox. const. datorită acțiunii RAT).

Pentru comparație, în anexa 5, pct. c, se prezintă rezultatele calculelor efectuate, din care rezultă o bună concordanță cu valorile măsurate.

3. Considerații asupra regimurilor de exploatare și concluzii

Din examinarea datelor prezentate în tabelul 6 rezultă că funcționarea grupurilor în anul 1980 s-a făcut în regimuri preponderent consumatoare de energie reactivă.

Cu excepția avariei datorate pendulațiilor înregistrate în aprilie 1979, ca urmare a saltului brusc de tensiune de circa 8,5% din stația de 220 kV Sibiu (determinat de o deconectare a unor reactanțe), descris la cap. 1, nu s-au înregistrat în exploatare alte evenimente sau fenomene perturbatoare datorate regimului consumator de putere reactivă. Stabilitatea statică și dinamică s-au dovedit bune și nu s-au sesizat fenomene caracteristice de supraîncălzire a capetelor de bobină sau zonelor frontale ale statoarelor în regimurile de funcționare utilizate.

Se menționează că, în mod frecvent, regimul de consumator de putere reactivă de lungă durată a fost în jur de 20—30 MVar.

Din cele prezentate se desprind următoarele concluzii referitoare la exploatarea în regim consumator de energie reactivă:

a) Regimurile-limită, determinate atît prin calcul cît și experimental (pentru $U_G = 13{,}25 - 13{,}6$ kV) sînt:

— 80 MVar pentru un generator;

— 40 MVar pentru funcționarea cu 2 și 3 grupuri.

b) Metoda de calcul expusă la cap. 1 s-a dovedit precisă și utilă în studierea fenomenelor de stabilitate.

c) Rezervele mari de stabilitate dinamică, datorate aportului RAT, asigură centralei Lotru-Ciunget o funcționare sigură și aduc un aport însemnat la stabilitatea de ansamblu a sistemului în zona de racord.

ANEXA 1

Calculul parametrilor statici ai funcționării hidrogeneratorului

Se consideră cunoscute: puterea activă P, reactivă Q și U_G = constant.

a) Proiectînd U_G și $X_q \cdot I$ pe o direcție perpendiculară pe E (fig. 2), rezultă:

$U_G = X_q I \sin(\theta_1 - \varphi_1)$, de unde se deduce:

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{X_q I \cos \varphi_1}{(U_G - X_q I \sin \theta_1)} \tag{1.1}$$

unde:

φ_1 se calculează din relația:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{P}{Q} \tag{1.2}$$

I se determină din relația:

$$I = \frac{P}{3 U_G \cos \varphi_1} \tag{1.3}$$

b) Proiectînd E_0 și $X_q I$ pe o direcție perpendiculară pe U_G, rezultă:

$$E_0 = \frac{X_q I \cos \varphi_1}{\sin \theta_1} \tag{1.4}$$

c) Din figura 2 rezultă unghiul intern global θ_2 :

$$\theta_2 = \theta_1 - \varphi_1 + \varphi_2 \tag{1.5}$$

d) Proiectînd E_0 și $(X_L + X_q)I$ pe o direcție perpendiculară pe U_R, rezultă în mod similar :

$$\sin \theta_2 = \frac{(X_L + X_q) I \cos \varphi_2}{E_0} \tag{1.6}$$

e) Din sistemul de ecuații (1.4) și (1.5) se calculează θ_2 și φ_2.

f) Proiectînd U_G și E_0 pe direcția lui X, rezultă :

$$U_R = \frac{E_0 \cos(\theta_2 - \varphi_2)}{\cos \varphi_2} \tag{1.7}$$

g) Calculul t.e.m. E a generatorului :

— din triunghiul OAD (fig. 2) rezultă :

$$I = \frac{E_0 \sin \theta_2}{(X_L + X_q) \cos \varphi_2}$$

$$\text{și} \quad \frac{E_0}{\cos \varphi_2} = \frac{U_R}{\cos(\theta_2 - \varphi_2)},$$

din care se deduce :

$$I = \frac{\sqrt{U_R^2 + E_0^2 - 2U_R E_0 \cos \theta_2}}{X_L + X_q}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{E_0 \sin \theta_2}{\sqrt{U_R^2 + E_0^2 - 2U_R E_0 \cos \theta_2}} \tag{1.8}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{U_R - E_0 \cos \theta_2}{\sqrt{U_R^2 + E_0^2 - 2U_R E_0 \cos \theta_2}}$$

Înlocuind relațiile (1.6) și (1.8) în ecuația (3), rezultă :

$$E = \frac{X_d + X_L}{X_q + X_L} E_0 - \frac{X_d - X_q}{X_q + X_L} U_R \cos \theta_2 \tag{1.9}$$

h) Relațiile clasice pentru P și Q [2], [3], la bornele de racord cu sistemul, devin astfel :

$$P = m \frac{E U_R \sin \theta_2}{X_d + X_L} + m \frac{U_R^2}{2} \left(\frac{1}{X_q + X_L} - \frac{1}{X_d + X_L} \right) \cdot \sin 2\theta_2 \tag{1.10}$$

$$Q = m \frac{E U_R \sin \theta_2}{X_d + X_L} + m U_R^2 \left(\frac{1}{X_q + X_L} - \frac{1}{X_d + X_L} \right) \cdot \cos^2 \theta_2 - \frac{m U_R^2}{X_q + X_L} \tag{1.11}$$

ANEXA 2

Parametrii statici de funcționare ai hidrogeneratorului Lotru-Ciunget și caracteristicile unghiulare în ipoteza reglajului manual al excitației (E = const.)

A. *Parametrii statici de funcționare pentru diverse valori ale puterii reactive consumate din sistem*

a) Principalele date de calcul :

— reactanța liniei de legătură

$$X_L = X_T + X_{L_1},$$

unde :

X_T este reactanța trafo [7], dată de relația :

$$X_T = \frac{10\, U_{sc}[\%]\, U_G^2}{S_n},$$

în care

$U_{sc}[\%]$ este tensiunea de scurtcircuit = 11,43% ;
U_G — tensiunea generatorului : ;
S_n — puterea aparentă a trafo = 190 MVA.

Cu datele transformatorului, rezultă : $X_T = 0{,}131\ \Omega$
Reactanța LEA 220 kV, $X_{L_1} = 0{,}0786\ \Omega$
Rezultă : $X_L = 0{,}21\ \Omega$
Reactanțele mașinii :
— $X_d = 1{,}47\ \Omega$
— $X_q = 0{,}91\ \Omega$

b) Utilizînd relațiile din anexa 1, rezultă, pentru : $P = 170$ MW = const. ; $U_G = 8{,}95$ kV = const. și $Q = 20$, 80 și 120 MVar, următorul set de valori :

Tabelul 1

Q(MVar)	20	80	120
I (kA)	6,375	7	7,75
U_G (kV)	8,85	8,95	8,95
φ_1 (°)	6,71	25,2	35,2
θ_1 (°)	34,9	42,7	49,7
E_0 (kV)	10,07	8,495	7,55
φ_2 (°)	15,1	33,1	42,9
θ_2 (°)	43,2	50,6	57,4
U_R (kV)	9,2	9,67	9,98
E (kV)	11,75	9,67	8,64

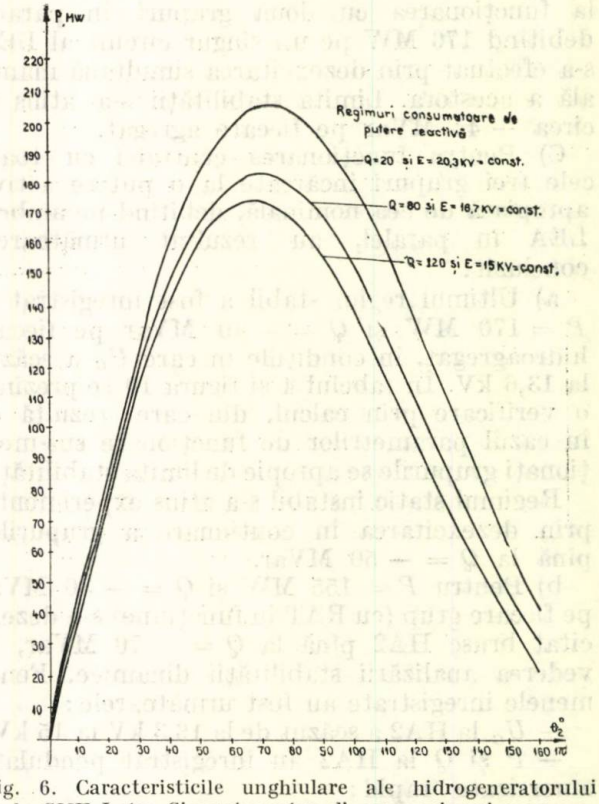


Fig. 6. Caracteristicile unghiulare ale hidrogeneratorului de la CHE Lotru-Ciunget pentru diverse regimuri consumatoare de putere reactivă și reglaj manual al excitației (fără RAT).

Capacitatea de supraîncărcare
— pentru $Q = 20$, $K = \frac{P_{max}}{P_N} = \frac{205{,}67}{170} = 1{,}21$
— pentru $Q = 80$, $K = \frac{183{,}67}{170} = 1{,}08$
— pentru $Q = 120$, $K = \frac{174}{170} = 1{,}023$
$Q_{max} = 70°$

B. *Caracteristicile unghiulare în cazul reglajului manual al excitației* (E = const.)

Pentru reglajul manual al excitației cînd E = const., corespunzător fiecărei valori a lui Q, rezultă caracteristicile unghiulare din figura 6.

ANEXA 3

Stabilirea relației $E_0 = f(\theta_2\, U_R, X_L, U_G)$

Din diagrama vectorială din figura 2 rezultă :

$$\underline{U}_G = \underline{U}_R + jX_L\underline{I} \tag{3.1}$$

$$\underline{U}_G = \underline{E}_0 - jX_q\underline{I} \tag{3.2}$$

Înlocuind pe I din ecuația (3.2) în (3.1), se obține :

$$\underline{U}_G = \frac{X_q}{X_q + X_L}\underline{U}_R + \frac{X_q}{X_q + X_L}E_0 \tag{3.3}$$

Trecînd în scalar relația vectorială (3.3), rezultă [3] :

$$U_G \sin\theta = \frac{X_q}{X_q + X_L}E_0 \sin\theta_2$$

$$U_G \cos\theta = \frac{X_q}{X_q + X_L}U_R + \frac{X_L}{X_q + X_L}E_0 \cos\theta_2,$$

de unde

$$U_G^2 = \left(\frac{X_L}{X_q + X_L}\right)^2 E_0^2 + \left(\frac{X_q}{X_q + X_L}\right)^2 U_R^2 + 2\frac{X_qX_L}{(X_q+X_L)^2}E_0U_R \cos\theta_2 \tag{3.4}$$

Considerînd E_0 ca necunoscută, soluția ecuației (3.4) este :

$$E_0 = \frac{-\frac{X_qX_LU_R\cos\theta_2}{(X_q + X_L)^2} \pm \sqrt{\frac{(X_q\,X_L\,U_R\,\cos\theta_2)^2}{(X_q + X_L)^4} - \left(\frac{X_L}{X_q + X_L}\right)^2\left(\frac{X_q^2}{(X_q+X_L)^2}U_R^2 - U_G^2\right)}}{\left(\frac{X_L}{X_q + X_L}\right)^2} \tag{3.5}$$

ANEXA 4

Calculul curbelor stabilității statice artificiale a HG 170 MW CHE Lotru-Ciunget, pentru diverse regimuri consumatoare de putere reactivă, și concluzii privind stabilitatea dinamică în cazuri de avarie

Curbele stabilității statice artificiale se determină din ecuația (3), în care :

— parametrii mașinii și ai rețelei sînt cei prezentați în anexa 2, pct. A ;

— parametrii de funcționare sînt : P = 170 MW = const. ; U_R = 8,95 kV ($U_L = 8{,}95 \cdot \sqrt{3} = 10{,}5$ kV), iar Q = 20, 80, 120 și 140 MVar.

Utilizînd relațiile (4), (2) și (3), rezultă, pentru E_0, E și P, setul de valori cuprinse în tabelul 2.

Corespunzător valorilor din acest tabel s-au trasat curbele $E = f(\theta_2)$, conform figurii 7 *a* și, în final, curbele stabilității statice artificiale, prezentate în figura 7 *b*.

Pentru studiul fenomenului de stabilitate dinamică în jurul puterii nominale P = 170 MW, au fost reprezentate în detaliu (fig. 8 și 9) porțiunile de curbe ale stabilității statice artificiale pentru trecerea intempestivă de la Q = 20, la Q = 80, respectiv Q = 80 capacitiv.

Principalele concluzii sînt :

a) Pentru diversele salturi de creștere a tensiunii rețelei în Sibiu, puterea activă și unghiul intern înregistrează pendulații în domeniile :

— pentru ΔU = 5,1% (de la U_R = 9,2 kV la 9,67 kV), rezultă P_{max} = 208,75 MW și P_{min} = 135 MW
$\theta_{max} = 57°$, $\theta_{min} = 43{,}2°$ și $\theta_{stabil} = 50{,}6°$

— pentru ΔU = 8,5% (de la U_R = 9,2 kV la 9,98 kV), rezultă P_{max} = 242,5 MW și P_{min} = 110 MW
$\theta_{max} = 68{,}5°$, $\theta_{min} = 43{,}2°$ și $\theta_{stabil} = 57{,}4°$

b) Rezervele de stabilitate în cazul funcționării RAT cresc sensibil față de situația funcționării excitației pe reglaj manual (analizată în anexa 2). Acest lucru rezultă din valorile deosebit de crescute ale lui P_{max} și θ_{max}. Astfel, din tabelul 2 se remarcă faptul că P_{max} = 1175 ÷ 1284 MW, căreia îi corespunde θ_{max}=130°, în aceste condiții rezultînd o capacitate de supraîncărcare foarte mare :

$$K = \frac{P_{max}}{P_N} = 6{,}9 \div 7{,}55$$

Tabelul 2

Variația t.e.m. E și a puterii active P funcție de unghiul intern global θ_2 pentru HG CHE Lotru-Ciunget, funcționînd cu RAT la valoarea de consemn corespunzătoare U_G = 15,5 kV în diverse regimuri consumatoare de putere reactivă

	Q MVar	U_{R1} kV \ θ_2	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	130°	140°	160°
	20	9,2	7,86	8,28	9,731	13,028	20,225	34,071	52,89	62,311	70,811	83,2
	80	9,67	5,605	6,154	7,308	10,05	16,713	31,266	51,96	62,26	71,5	84,9
E_0	120	9,98	4,486	4,475	5,674	7,97	14,04	29,064	51,216	62,163	71,932	86,0
	140	10,12	3,88	4,107	4,927	6,989	12,715	27,945	50,842	62,09	72,114	86,5
	20	9,2	7,315	7,216	11,168	17,3	29,56	51,88	81,578	96,34	109,64	124,8
	80	9,67	3,932	5,025	7,533	13,617	24,292	46,89	80,177	96,87	110,68	131,5
E	120	9,98	2,254	2,912	5,082	9,717	20,289	44,343	79,062	96,12	111,32	133,2
	140	10,12	1,345	1,955	3,962	8,264	18,295	42,694	78,503	96,025	111,6	133,99
	20	9,2	0	59,08	155,08	278,92	491,17	826,44	1127,33	1175,22	1120,0	736,31
P	80	9,67	0	56,5	124,72	228,29	427,37	783,26	1162,84	1232,34	1187,3	750,15
	120	9,98	0	46,33	102,0	188,47	371,31	763,57	1181,72	1268,4	1231,49	783,43
	140	10,12	0	41,47	91,04	168,64	341,23	744,18	1189,9	1284,65	1254,31	812,52

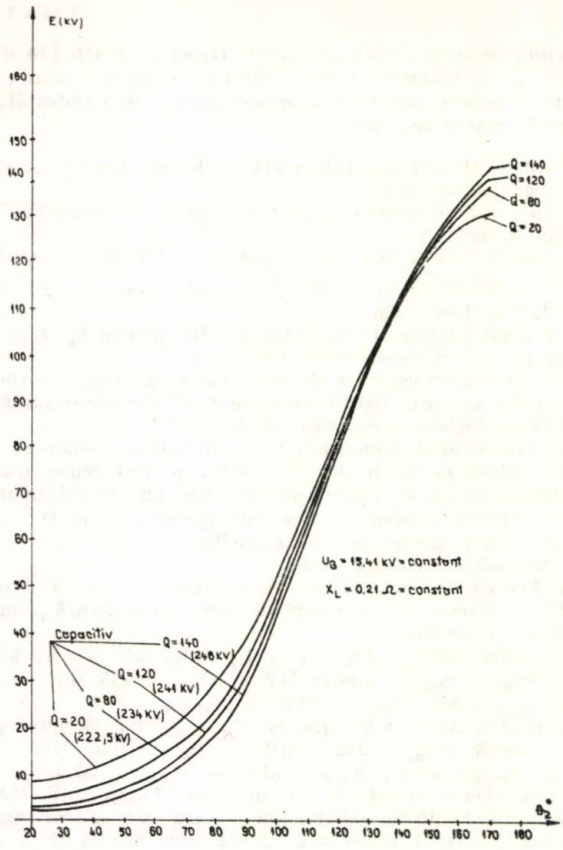


Fig. 7 *a* Familiile de curbe $E = f(\theta_2)$ pentru funcţionarea generatorului de la CHE Lotru-Ciunget cu U_G = 15,41 kV = = const. şi în diverse regimuri capacitive impuse de valorile diferite ale tensiunii în staţia 220 kV Sibiu.

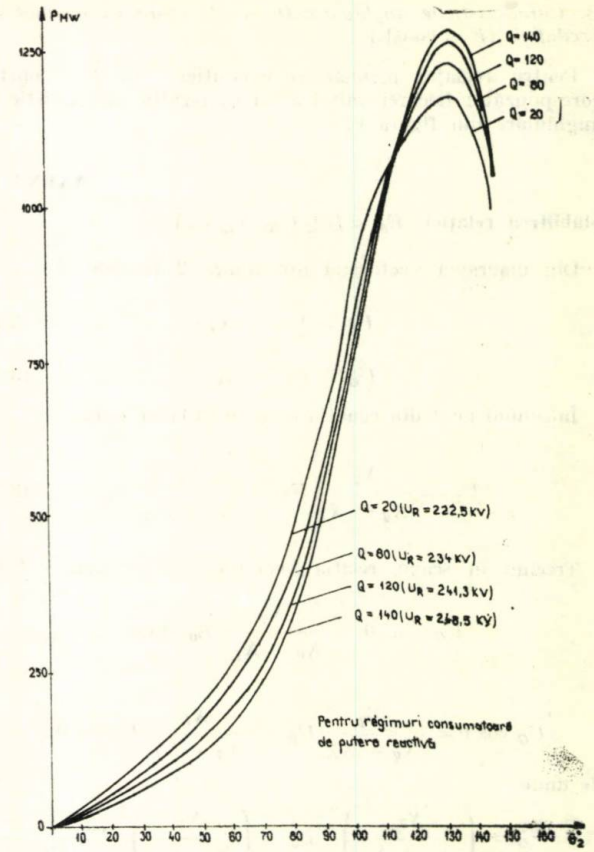


Fig. 7 *b*. Caracteristicile unghiulare (curbele stabilităţii statice artificiale) ale funcţionării generatorului de la CHE Lotru-Ciunget, pentru U_G = const. şi în diverse regimuri consumatoare de energie reactivă.
U_G = 15,41 kV = const.; X_L = 0,21 Ω = const.

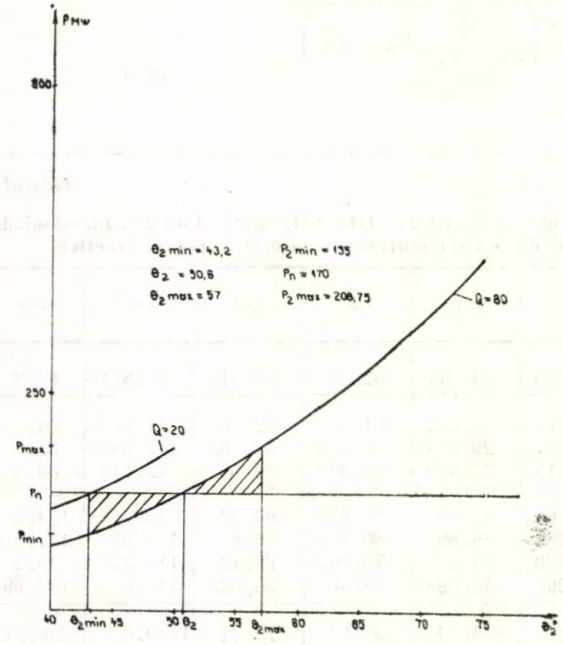


Fig. 8. Analiza stabilităţii dinamice (determinarea pendulaţiilor) în cazul unei treceri intempestive a funcţionării generatorului de la CHE Lotru-Ciunget în regim subexcitat de la 20 MVar la 80 MVar.

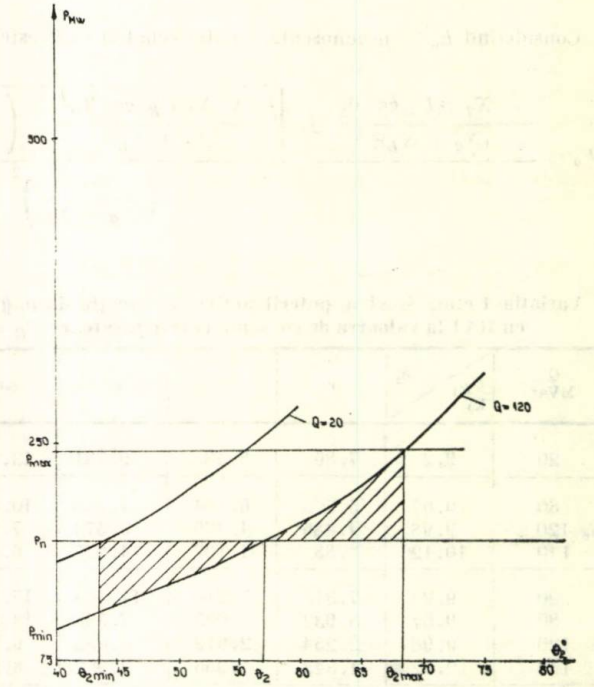


Fig. 9. Analiza stabilităţii dinamice (determinarea pendulaţiilor) în cazul unei treceri intempestive a funcţionării generatorului de la CHE Lotru-Ciunget în regim subexcitat de la 20 MVar la 120 MVar.
θ_{2min} = 43,2 P_{min} = 110
θ_2 = 57,4 P_n = 170
θ_{2max} = 68,5 P_{max} = 242,5

Determinări experimentale și date de exploatare în regim consumator de energie reactivă

Tabelul 3

A. *Măsurători la funcționarea cu un singur agregat debitînd pe un circuit al LEA 220 kV Ciunget-Sibiu* [6]

Q MVar	0	−10	−20	−31	−40	−50	−60	−80
P (MW)	170	170	170	170	170	170	170	170
I_{st} (kA)	6,4	6,5	6,59	6,8	7	7,25	7,6	8,2
U_G (kV)	15,6	15,25	15	14,75	14,5	14,2	13,8	13,26
I_e (kA)	0,9	0,25	0,825	0,78	0,755	0,725	0,7	0,68
θ_1 (°)	26,6	28	30	33,5	37,5	40	44	50
U_{220} (kV)	240	235	232	232	228	225	222	—
Q_{Sibiu} (MVar)	0	30	35	40	55	70	80	120

B. *Verificarea prin calcul a stabilității în cazul funcționării cu 3 grupuri în paralel și subexcitării intempestive a HA2*

B.1. Funcționarea înaintea avariei cu toate agregatele în paralel, încărcate la

$$P = 155 \text{ MW și } Q = +30 \text{ MVar}$$

Notînd cu U_{R1} tensiunea din stația de transformare Ciunget și U_G tensiunea generatorului și ținînd seama că între acestea se intercalează reactanța X_T a transformatorului, se prezintă parametrii statici de funcționare, calculați conform metodologiei din anexa 1.

B.2. Regimul după avarie (HA2 se subexcită la $Q = -70$ MVar, iar HA1 și HA3 se subexcită la $Q = +80$ MVar, fiecare)

În tabelul 5 se prezintă parametrii statici de funcționare, iar în figura 10 se dau caracteristicile unghiulare pentru valorile de consemn ale RAT după avarie (U_G la HA2 = 15 kV și U_G la HA1 și HA3 = 16,3 kV), comparativ cu situația dinaintea avariei (U_G = 16,3 kV la toate generatoarele).

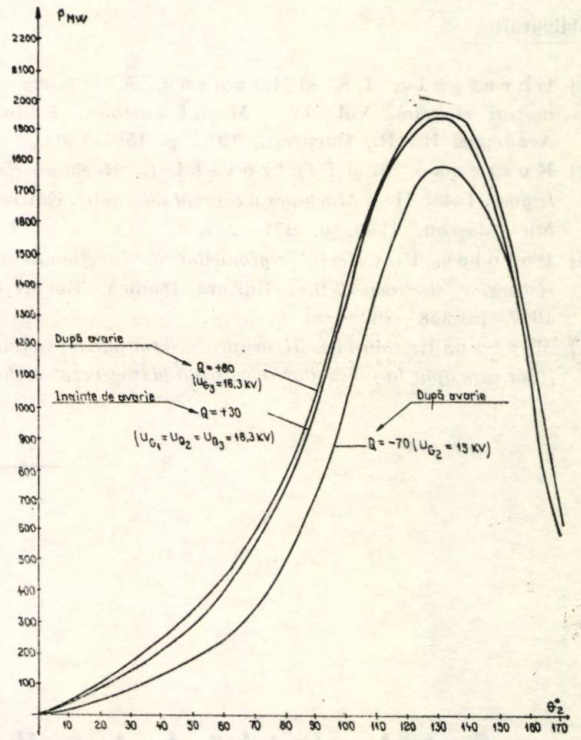


Fig. 10. Caracteristicile unghiulare pentru diverse regimuri de funcționare a hidrogeneratorului de la CHE Lotru-Ciunget. →

Tabelul 4

Q (MVar)	UG (kV)	P (MW)	φ_1 (°)	θ_1 (°)	θ_2 (°)	φ_2 (°)	E_0 (kV)	E (kV)	UR_1 (kV)	XT (Ω)	I (kA)
+30	9,41	155	10,95	25,7	30,15	6,49	11,51	13,37	9,29	0,131	5,59

Tabelul 5

Q (MVar)	UG (kV)	P (MW)	φ_1 (°)	I (kA)	θ_1 (°)	θ_2 (°)	φ_2 (°)	E_0 (kV)	E (kV)	UR_1 (kV)	XT (Ω)
+80	9,4	155	27,21	6,187	22,66	27,23	22,72	12,98	15.2	9,05	0,131
−70	8,66	155	24,3	6,54	41,14	46,11	29.27	8,24	9,3	9,05	0,131

Tabelul 6

C. Date de exploatare ale grupurilor în anul 1980

Nr. crt.	Data	Energia activă produsă (MWh)	Energia reactivă consumată (MVarh)	Energia reactivă consumată pe fiecare grup (MVarh)	Energia reactivă produsă (MVarh)	Timp de funcționare	
						Generator	Compensator
1	1980	953 280	226 530	I. 112 464 II. 51 317 III. 60 331	80 280	I. 3157 h II. 2175 h III. 3939 h	I. 3432 h II. 1567 h III. 1919 h
2	28.09.1980	538	1740	I. 0	0	II. 9 h III. 0 h	II. 15 h III. 22 h 40′
3	16.09.1980	11 040	470	0	120	I. 22 h 30′ II. 24 h III. 22 h 9′	I. 0 h 22′ II. 0 h III. 1 h 8′
4	28.03.1980	1 976	600	1 600	10	I. 12 h	I. 12 h
5	29.03.1980	615	630	1 630	0	I. 5 h	I. 18 h 55′
6	11.05.1980	29	1 520	0	0	I. 0 h 15′ III. 0 h	I. 23 h 45′ III. 5 h

Bibliografie

[1] Gheorghiu, I. S. și Fransua, Al. *Tratat de mașini electrice*. Vol. IV — *Mașini sincrone*. Editura Academiei R.S.R., București, 1972, p. 159—180.

[2] Kostenko, M. și Piotrovski, L. *Machines électrigues*. Tome II — *Machines à courent altérnatif*. Editions Mir—Moscou, 1969, p. 271—281.

[3] Potolea, E. *Calculul regimurilor de funcționare ale sistemelor electroenergetice*. Editura tehnică, București, 1977, p. 358—362.

[4] Mîrzan, E. *Considerații asupra determinării pendulațiilor care apar la subexcitarea bruscă a hidrogeneratoarelor. Analiza fenomenelor de pendulație apărute la CHE Rm. Vîlcea*. În : Energetica, nr. 6, 1976, p. 187—193.

[5] * * * *Studiu experimental de funcționare interconectată a UHE Lotru-Ciunget*. Lucrare ISPE nr. 6495, 1974, p. 11—13.

[6] * * * *Studiu experimental al performanțelor CHE Lotru-Ciunget în vederea determinării condițiilor în care aceasta poate participa la acțiunile automaticii de sistem*. Lucrare ISPE nr. 9574, 1980, p. 7—10.

[7] Gheorghiu, N. *Aparate și rețele electrice*. Editura didactică și pedagogică, București, 1971, p. 380.

(Articol intrat în redacție la 9 martie 1981)

Monografii

Centrala electrică de termoficare Borzești la a XXV-a aniversare

Anul acesta, la 24 mai, s-a împlinit un sfert de secol de la punerea în funcțiune a primului grup energetic de 25 MW din Centrala electrică de termoficare Borzești, moment care a marcat apariția pe harta economică a țării a unei surse de energie ce avea să devină inima energetică a marii platforme petrochimice de la Borzești, cea mai mare termocentrală electrică din Moldova și una dintre cele mai importante din România.

Istoria acestui obiectiv economic își are începutul în Planul de electrificare a României pe 10 ani (1951—1960) și constituie un exemplu grăitor al politicii înțelepte a partidului de industrializare socialistă, de dezvoltare armonioasă a tuturor regiunilor patriei.

Industria României în anii 1945—1950 era foarte slab dezvoltată, încît nu se putea vorbi de un consumator de energie electrică și cu atît mai puțin de un furnizor de energie electrică. Starea de înapoiere economică moștenită de la regimul burghezo-moșieresc se reflecta și prin faptul că în anul 1950 puterea totală instalată în țară era de numai 740 MW, iar

producția anuală de energie electrică depășea cu puțin 2 miliarde kWh (pentru a ne face o idee, arătăm că această energie este produsă de actuala întreprindere Electrocentrale Borzești în numai 85 zile). Instalațiile de producere a energiei electrice erau insuficiente, neeconomicoase și învechite. Puterea era dispersată în centrale echipate cu motoare Diesel, cu un avansat grad de uzură. În Moldova, numai orașul Galați dispunea de o mică centrală termoelectrică pe păcură, orașul Bacău avea o mică centrală hidroelectrică, iar la Comănești funcționa o centrală termoelectrică pe cărbune. Toate unitățile furnizoare de energie din Moldova anului 1950 puteau produce într-un an maximum 240 milioane kWh.

Starea de înapoiere economică a Moldovei a determinat ca în planul general de dezvoltare a economiei naționale să se prevadă realizarea unui important salt în dezvoltarea industrială a acestei zone a țării, prin crearea unor noi industrii — siderurgică la Roman, petrochimică la Borzești, de îngrășăminte azotoase la Roznov, chimico-farmaceutică la Iași etc. — precum și prin modernizarea și extinderea unităților industriale existente.

Amplasarea între localitățile Onești și Borzești a unui mare complex industrial petrochimic — aprobată prin H.C.M. nr. 1638/1952 —, parte integrantă a măsurilor luate de partid pentru dezvoltarea Moldovei, s-a dovedit a fi optimă pe criterii tehnice, economice și sociale, avîndu-se în vedere și bogățiile economice apreciabile din bazinul Trotuș. În aceeași hotărîre se stipula necesitatea construirii unei centrale electrice de termoficare la Borzești, care urma să alimenteze cu energie electrică și termică noul complex industrial și cu căldură localitatea Onești.

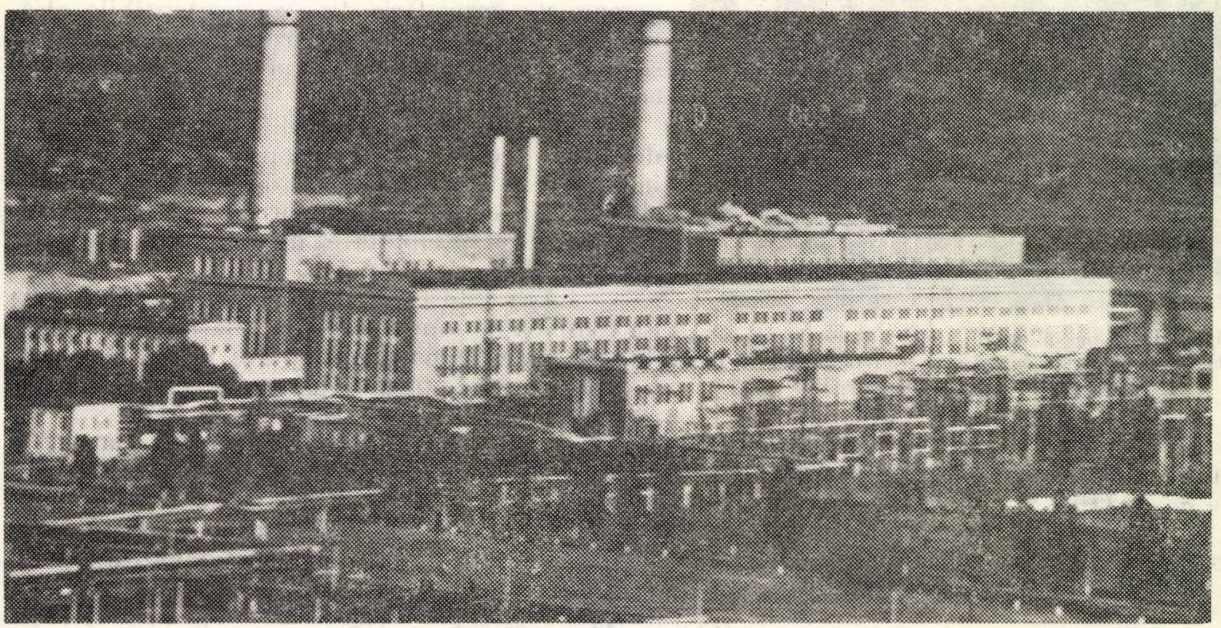


Fig. 1. Centrala electrică de termoficare nr. 1. Borzești — vedere generală.

Față de elementele de analiză existente în anii 1951—1952 rezultă că centrala electrică de termoficare de la Borzești trebuia să aibă la finele primului cincinal o putere instalată de 100 MW, urmînd ca în cel de-al doilea cincinal să atingă 125 MW, putînd ajunge pînă la 150 MW. Se preconiza ca centrala să fie echipată cu șapte cazane de abur (1×170 t/h + 6×230 t/h) la $p = 100$ ata și $t = 510°C$ și șase turbine de cîte 25 MW, din care patru cu condensație și termoficare și două cu contrapresiune de 15—18 ata.

Dar, după cum se va vedea, această prognoză inițială va fi depășită, dezvoltarea rapidă a Grupului industrial Borzești, consumurile de energie sporită față de prevederile inițiale impunînd o creștere corespunzătoare a capacității de producție a termocentralei și o schimbare a profilului acesteia stabilit la început.

Proiectantul general al lucrărilor a fost I.S.P.E. — București, iar execuția lor a început în trim. IV. 1952, fiind încredințată Trustului de construcții și montaje energetice București.

Etapa I: CET 1 — 75 MW

Montajul primului grup de 25 MW (cazan TG 170 și turbină VPT—25—3) a început în 1955, punerea în paralel a acestuia cu sistemul avînd loc la 24 mai 1956; intra astfel în istoria energeticii românești prima mare centrală electrică de termoficare.

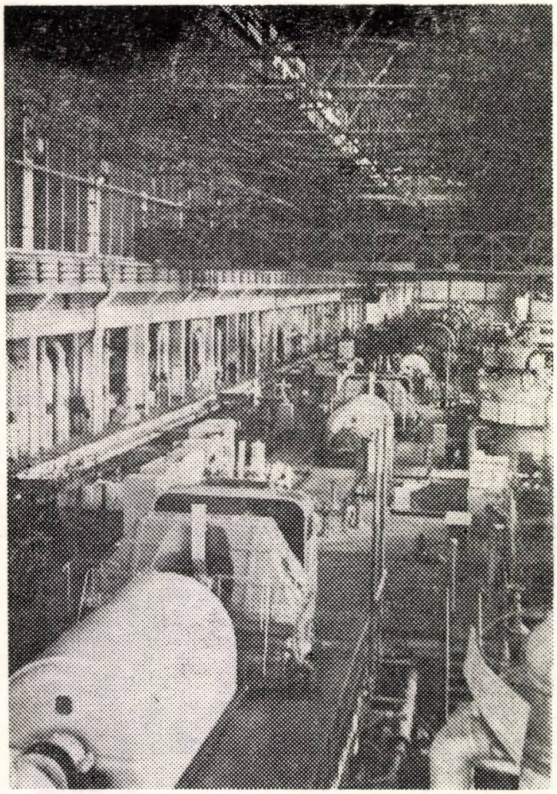


Fig. 2. Sala mașinilor din CET 1 Borzești. (În prim plan se vede turbogeneratorul nr. 1 de 25 MW, pus în funcțiune la 24 mai 1956).

După circa 10 luni de la această premieră, mai exact la 19 martie 1957, s-a racordat la sistemul energetic al doilea grup de 25 MW (cazan TG 230 și turbină VPT—25—3). De la acea dată CET Borzești depășea în putere întreaga putere electrică instalată în Moldova anului 1950.

În ceea ce privește grupul nr. 3 de 25 MW (cazan TG 230 și turbină VR—25—2), cazanul a intrat în funcțiune la 17 aprilie 1959, generatorul electric s-a cuplat la rețea, în regim de compensator sincron, la 25 mai 1959, iar funcționarea normală a întregului agregat turbină-generator a început la 4 aprilie 1961.

Pentru asigurarea cu combustibil a fost construită o gospodărie de păcură compusă din instalații de descărcare, stocare, pompare și circuite de transport păcură pînă la sala cazanelor, precum și o gospodărie de gaze combustibile, alcătuită dintr-o stație de reglare a presiunii gazelor și conducte de transport (se aprecia că gazele vor fi combustibilul de rezervă).

În scopul completării pierderilor de condensat în centrală și la consumatorii de abur industrial a fost construită o stație de tratare chimică a apei tehnologice cu un debit inițial de 300 t/h și cu posibilitatea de extindere ulterioară pînă la 600 t/h.

Apa industrială de răcire se asigura printr-un complex de amenajări și instalații hidrotehnice, din care făceau parte o captare pe rîul Trotuș, o casă a sitelor, turnuri de răcire, pompe de recirculare, aducțiuni, bazine etc.

Evacuarea puterii electrice se realiza prin linii electrice de 6, 35 și 110 kV, construindu-se în acest scop o stație interioară principală de conexiuni de 6 kV și o stație exterioară de 35 și 110 kV.

La sfîrșitul acestei perioade din dezvoltarea sa, CET Borzești era deja un mare producător de căldură și electricitate, fiind în principal sursa de energie pentru Complexul petro-

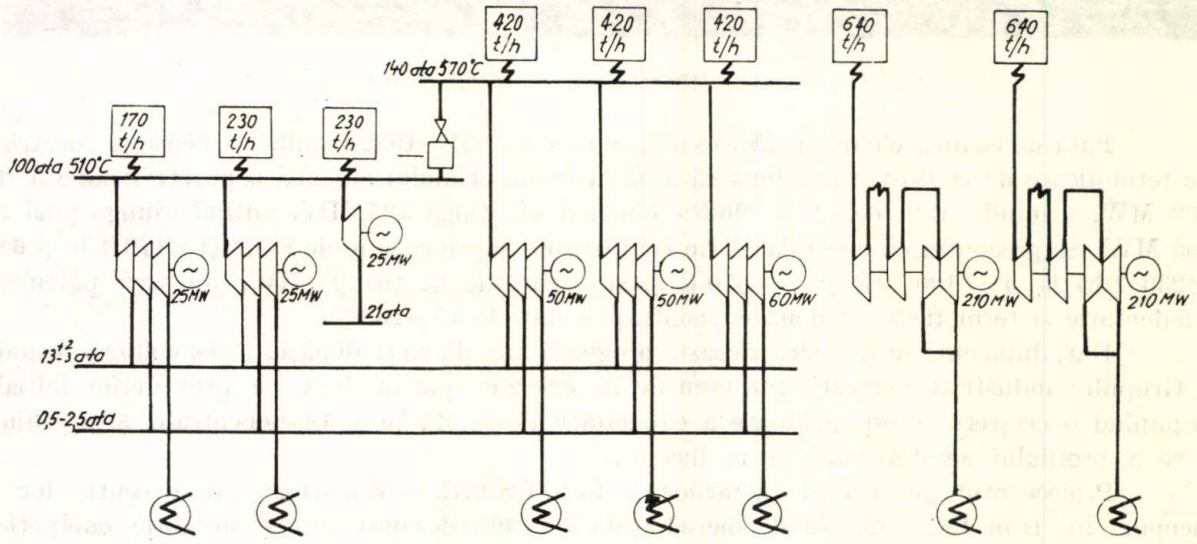


Fig. 3. Schema termică de principiu a CET 1 și CTE Borzești.

chimic de pe platforma industrială Borzești și pentru orașul Gh. Gheorghiu-Dej, pompînd și în sistem importante cantități de energie electrică.

Astfel, în 1961 termocentrala a produs circa 1 milion Gcal și peste 700 000 MWh.

Etapa a II-a: extinderea CET 1 la 235 MW

Datorită schimbării profilului unor unități din cadrul Combinatului petrochimic Borzești și ca urmare a apariției unor noi consumatori termici industriali și urbani, încă din anul 1958 a apărut necesitatea reconsiderării dezvoltării CET Borzești.

Din analiza noilor consumuri termice și electrice a rezultat că CET Borzești trebuia să ajungă în 1965 la o putere instalată de 235 MW. Această dezvoltare nu mai putea fi realizată cu grupuri de 25 MW, deoarece ele erau neeconomice și nu mai corespundeau nivelului tehnic de la acea dată.

În consecință, s-a hotărît extinderea centralei cu două grupuri de 50 MW (cazane TGM — 420 t/h și turbine VPT—50—3) și un grup de 60 MW (cazan TGM—420 t/h și turbină PT—60—130).

La grupul nr. 4 — primul grup de 50 MW din centrală — turbogeneratorul a intrat în funcțiune la 4 mai 1960 (utilizîndu-se abur din etapa veche), iar cazanul la 21 august 1961.

Agregatele grupului nr. 5 au fost date în exploatare astfel: turbogeneratorul — la 30 aprilie 1962, iar cazanul la 25 iunie 1962.

Prin punerea în funcțiune a grupului nr. 6 (turbina — la 12 iulie 1966, iar cazanul—la 13 octombrie în același an), puterea electrică instalată a CET Borzești ajunge la 235 MW.

Prin producerea combinată de energie electrică și de căldură se asigura realizarea unor importante economii de combustibil, reducerea efortului de investiții, precum și a cheltuielilor de exploatare.

Între cele două etape s-a realizat o legătură pe partea de abur viu, prin intermediul unei instalații de reducere-răcire de 140/100 ata și 565/510°C.

Pentru a se putea evacua întreaga putere electrică disponibilă a centralei, precum și pentru creșterea siguranței în funcționare, în 1966 s-a efectuat legătura centralei cu sistemul de 220 kV (prin stația de la Gutinaș), cu ajutorul unui autotransformator de 110/220 kV cu o putere nominală de 200 MVA. Un al doilea asemenea autotransformator s-a dat în exploatare în 1971.

Creșterea masivă a debitelor de abur industrial, calitatea apei tehnologice și parametrii impuși de cazane pentru apa de alimentare au determinat aplicarea soluției de demineralizare totală a apei tehnologice. De asemenea, a fost necesară și construirea unei stații

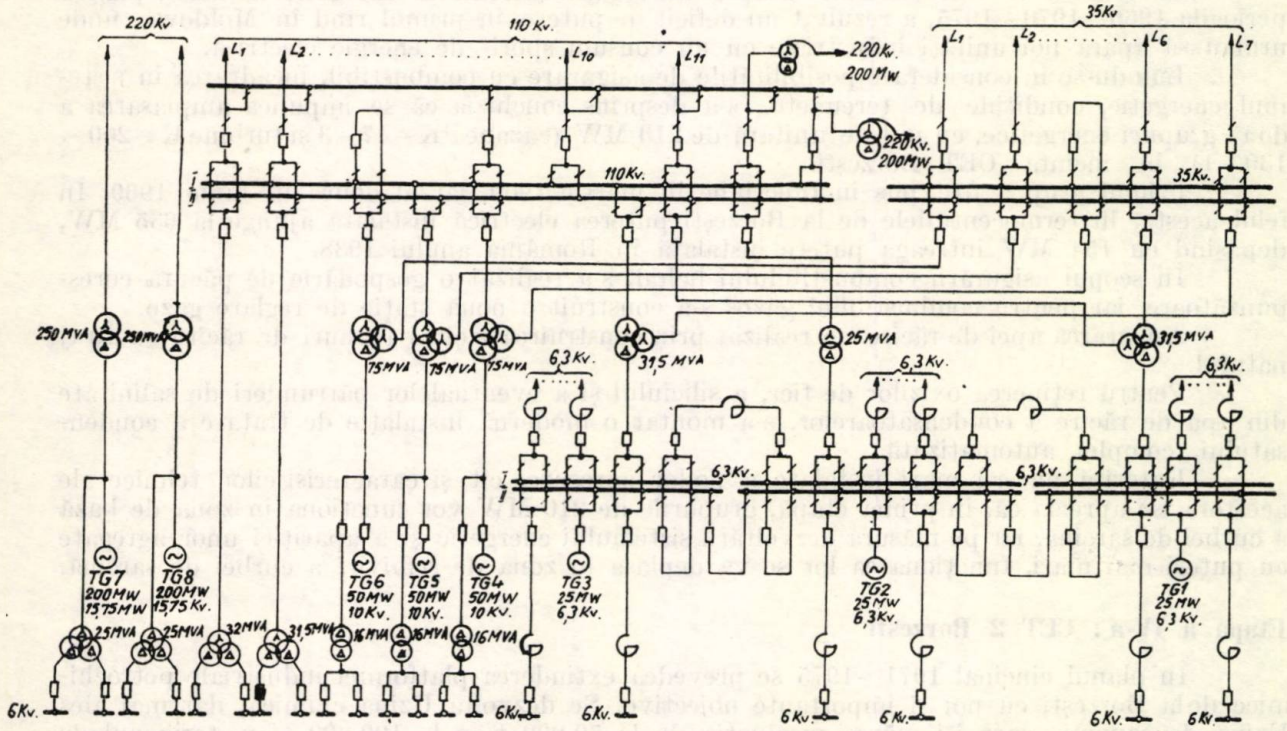


Fig. 4. Schema electrică monofilară a CET 1 și CTE Borzești.

de tratare a condensatului (care a apărut odată cu grupul nr. 6), astfel încît să se asigure condiții optime de funcționare noilor cazane cu parametri supraînalți.

Tot în această etapă au mai fost realizate următoarele obiective:

— intrarea în circuitul tehnologic, începînd din anul 1962, a acumulării de apă industrială de la Belci, pe rîul Tazlău, cu o capacitate inițială de 12 500 000 m^3;

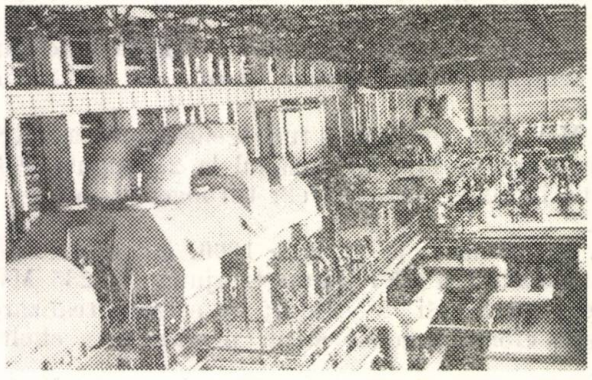


Fig. 5. Sala mașinilor din CTE 2×210 MW Borzești.

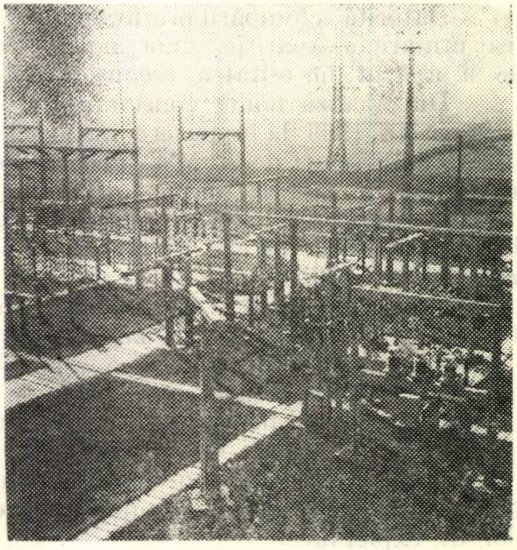


Fig. 6. Vedere generală a stației electrice exterioare de conexiuni 400 kV din CET 1 Borzești.

— montarea a două cazane de apă fierbinte de cîte 100 Gcal/h, care s-au dat în exploatare în 1965;

— instalarea în incinta Uzinei chimice a unei baterii de opt transformatoare de abur cu un debit total de abur de 258 t/h.

Etapa a III-a: CTE de 420 MW — condensație

Din studiile ce s-au întocmit asupra dezvoltării sistemului energetic național, pentru perioada 1966—1970—1975, a rezultat un deficit de putere, în primul rînd în Moldova, unde urmau să apară noi unități industriale cu un consum sporit de energie electrică.

Luîndu-se în considerare posibilitățile de asigurare cu combustibil, încadrarea în sistemul energetic, condițiile de teren etc., s-a desprins concluzia că se impunea amplasarea a două grupuri energetice, cu putere unitară de 210 MW (cazane PK—47—3 și turbine K—200—130—1) în incinta CET Borzești.

Primul grup a fost pus în funcțiune în martie 1969, iar al doilea în iunie 1969. În felul acesta, în termocentralele de la Borzești puterea electrică instalată ajunge la 635 MW, depășind cu 154 MW întreaga putere instalată în România anului 1938.

În scopul asigurării combustibilului lichid, s-a realizat o gospodărie de păcură corespunzătoare, iar pentru combustibilul gazos s-a construit o nouă stație de reglare gaze.

Asigurarea apei de răcire s-a realizat prin construirea a cinci turnuri de răcire cu tiraj natural.

Pentru reținerea oxizilor de fier, a siliciului și a eventualelor pătrunderi de salinitate din apa de răcire a condensatoarelor, s-a montat o modernă instalație de tratare a condensatului, complet automatizată.

Datorită puterii mari instalate a noilor agregate, cît și caracteristicilor tehnice ale acestora, se aprecia că, în prima etapă, grupurile de 210 MW vor funcționa în zona de bază a curbei de sarcină, iar pe măsura dezvoltării sistemului energetic și a apariției unor agregate cu puteri mai mari, funcționarea lor se va deplasa în zona de semivîrf a curbei de sarcină.

Etapa a IV-a: CET 2 Borzesti

În planul cincinal 1971—1975 se prevedea extinderea platformei industriale petrochimice de la Borzești cu noi și importante obiective. Se dezvolta Uzina chimică, dar mai ales Uzina de cauciuc, care își mărea producția de la 70 000 t/an la 100 000 t/an, termenul de punere în funcțiune a noilor capacități fiind anul 1973.

De asemenea, începuse construcția unei noi uzine de cauciuc poliizoprenic, cu termene de punere în funcțiune în anii 1974 și 1975.

Consumurile estimate nu mai puteau fi acoperite cu sursa de energie existentă.

Avîndu-se în vedere experiența de exploatare a marilor grupuri industriale ca surse de energie concentrate într-un singur punct, ținîndu-se seama de implicațiile majore în cazuri de întrerupere în alimentarea cu energie termică, s-a ajuns la concluzia că pe platforma industrială Borzești trebuia să ia ființă cea de-a doua sursă de energie.

Astfel, a apărut, în partea de N—NV a Uzinei de cauciuc, Centrala electrică de termoficare nr. 2 Borzești.

În funcție de combustibilul utilizat, centrala este constituită din două părți distincte: partea pe hidrocarburi (păcură și gaze) și partea pe cărbune.

Pe hidrocarburi funcționează cinci cazane de abur de cîte 50 t/h (tip CR—12 C), trei cazane de abur de cîte 100 t/h (tip Integral Babcok Wilcox) și două grupuri de termoficare de 50 MW fiecare (cazane C 4—PG—420 și turbine R 130—13 la primul grup și DSL — 50 la al doilea grup).

Cazanele de abur de 50 t/h au fost puse în funcțiune în cursul primelor două trimestre ale anului 1974. La sfîrșitul aceluiași an au fost date în exploatare primele două cazane de abur de 100 t/h, iar al treilea cazan de abur, de 100 t/h, a fost pus în funcțiune la sfîrșitul trimestrului I al anului 1975.

Cu grupul nr. 1 de 50 MW, pus în funcțiune la 31 decembrie 1975, CET 2 Borzești a debutat și ca producător de energie electrică. Cît privește grupul nr. 2 de 50 MW, cazanul a fost pornit la 31 octombrie 1977, iar exploatarea turbogeneratorului a început la 31 decembrie 1977.

Turbogeneratorul nr. 3 de 50 MW (turbină R—130—13) a fost pus în funcțiune la 24 ianuarie 1981, utilizîndu-se abur străin. Cazanul grupului (CR—12—44—lignit) urmează să fie dat în folosință în trim. IV al anului 1981, inaugurîndu-se epoca cărbunelui în existența centralelor electrice de la Borzești.

Prin montarea a încă două grupuri de cîte 50 MW (pe cărbune), care vor fi date în exploatare în 1982, puterea instalată în CET 2 Borzești va fi de 250 MW.

O altă realizare ce s-a înregistrat în această etapă, și care merită să fie consemnată, este intrarea în funcțiune — la 29 noiembrie 1978 — a unei aducțiuni de apă tehnologică de calitate de la Comănești. Această aducțiune a îmbunătățit radical condițiile de funcționare a stațiilor de tratare chimică a apei și a contribuit substanțial la creșterea siguranței în funcționarea instalațiilor noastre și a continuității în alimentarea consumatorilor.

Concomitent cu derularea investițiilor de la CET 2 Borzești, s-au executat lucrările de construcții-montaj la un alt obiectiv important — prin ponderea însemnată ce o are în satisfacerea nevoilor de energie termică ale consumatorilor. Este vorba de grupul celor trei cazane de abur de 105 t/h (tip CV—2) amplasate în incinta CET 1 Borzești și care au fost puse în funcțiune în cursul anului 1980.

Este de relevat modul în care au evoluat, în cei 25 de ani de dezvoltare, fazele de proiectare-concepție și dotarea cu utilaje a uzinelor electrice de la Borzești. Dacă în anii de la început atît proiectele cît și utilajele erau în mare parte de proveniență străină, în prezent toate documentațiile și marea majoritate a instalațiilor și agregatelor sînt românești. Este și

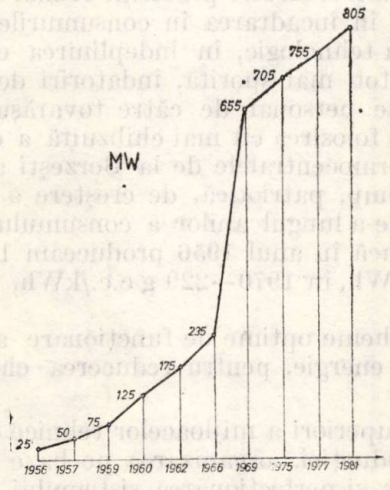


Fig. 7. Puterea electrică instalată în centralele de la Borzești în perioada 1956—1981.

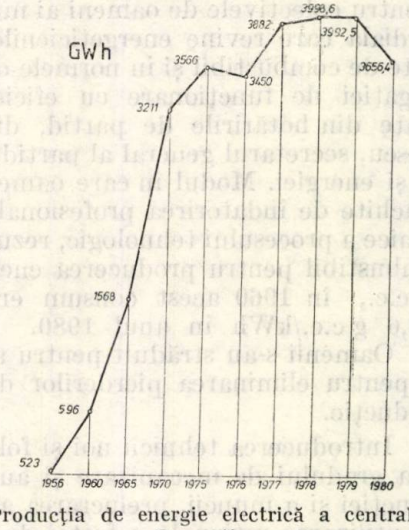


Fig. 8. Producția de energie electrică a centralelor de la Borzești.

pentru noi încă un motiv de satisfacție și mîndrie patriotică și un îndemn de a fi la înălțimea profesională pe care o implică deservirea utilajelor încredințate.

Astăzi termocentralele electrice de pe platforma industrială Borzești au o putere instalată de 805 MW și pulsează cu vigoare energie, în ritmurile industrializării socialiste a țării, în concordanță cu prefacerile profunde din toate sectoarele vieții economice și sociale. Producția medie zilnică a acestor termocentrale este de circa 13 500 000 kWh și

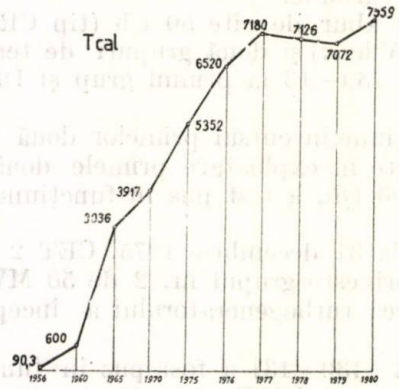


Fig. 9. Energia termică produsă de centralele electrice de termoficare de la Borzești.

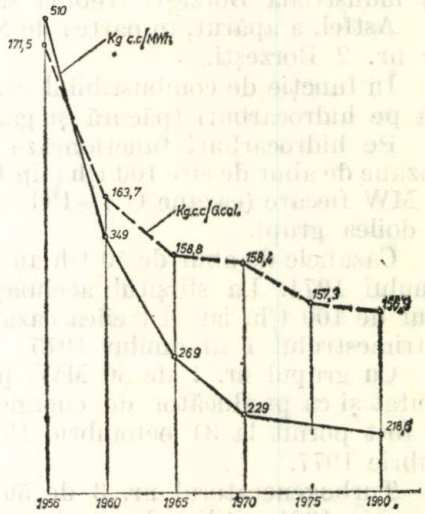


Fig. 10. Evoluția consumurilor specifice de combustibil pentru producerea energiei electrice (kg c.c./MWh) și a energiei termice (kg c.c./Gcal).

26 000 Gcal. Ca să înțelegem mai bine ce înseamnă această producție, este suficient, credem, să arătăm că energia termică produsă aici în 24 de ore ar putea asigura întregul consum de căldură al Municipiului Gh. Gheorghiu-Dej pentru circa 15 zile din perioada de iarnă.

Asigurarea unei alimentări continue a consumatorilor, eliminarea avariilor din vina personalului și a manevrelor greșite, activitățile de profilaxie și de analiză responsabilă a tuturor avariilor și incidentelor au fost obiective majore ale muncii, iar rezultatele obținute în această privință sînt ilustrate în scăderea de la an la an a numărului incidentelor și avariilor. Pe această linie, în toate compartimentele de exploatare, întreținere și reparații, s-a acționat cu perseverență și fermitate pentru îmbunătățirea disciplinei tehnologice, continua perfecționare a instrucțiunilor tehnice, cunoașterea și respectarea strictă a acestor instrucțiuni, realizarea unor reparații de calitate tot mai bună, creșterea eficienței controlului și a asistenței tehnice, îndeplinirea exemplară a atribuțiilor de serviciu.

Mare producătoare de energie, unitatea este, în același timp, un mare consumator de combustibil. Zilnic se consumă, în medie, în perioadele de vîrf de sarcină, 4 700 000 Nm^3 gaze și 2000 tone de păcură. Sînt cantități care impresionează și care generează probleme deosebite pentru colectivele de oameni ai muncii din întreprindere. Aceste probleme rezidă în sarcina primordială care revine energeticienilor și care constă în încadrarea în consumurile specifice normate de combustibil și în normele de consum propriu tehnologic, în îndeplinirea exemplară a obligației de funcționare cu eficiență economică tot mai sporită, îndatoriri de excepție rezultate din hotărîrile de partid, din indicațiile date personal de către tovarășul Nicolae Ceaușescu, secretarul general al partidului, cu privire la folosirea cît mai chibzuită a combustibililor și energiei. Modul în care oamenii muncii din termocentralele de la Borzești au înțeles să se achite de îndatorirea profesională și, în același timp, patriotică, de creștere a eficienței economice a procesului tehnologic, rezultă din evoluția de-a lungul anilor a consumului specific de combustibil pentru producerea energiei electrice: dacă în anul 1956 produceam 1 kWh cu 521 g c.c., în 1960 acest consum era de 349 g c.c./kWh, în 1970—229 g c.c./kWh, ajungînd la 218,6 g c.c./kWh în anul 1980.

Oamenii s-au străduit pentru a găsi și aplica scheme optime de funcționare a instalațiilor, pentru eliminarea pierderilor de combustibil și energie, pentru reducerea cheltuielilor de producție.

Introducerea tehnicii noi și folosirea cu indici superiori a mijloacelor tehnice existente, mărirea gradului de mecanizare și automatizare a producției, organizarea pe baze științifice a producției și a muncii, prelucrarea automată a datelor și perfecționarea sistemului informațional, utilizarea rațională a forței de muncă, calificarea și continua perfecționare a pregătirii

profesionale a lucrătorilor — au fost direcții pe care colectivul și-a canalizat sistematic și permanent acțiunile.

Îmbunătățirii formelor de organizare, de conducere și planificare i s-a acordat toată atenția, știut fiind ce influență covîrșitoare au acești factori asupra întregului proces al muncii.

De la an la an, colectivele de energeticieni de la Borzești, sub conducerea organelor și organizațiilor de partid, animate de dorința vie de a se achita în cele mai bune condiții de sarcinile care le-au revenit, au obținut rezultate tot mai valoroase în producție, aducînd întreprinderea lor, prin eforturi susținute, caracterizate de o înaltă responsabilitate muncitorească, în eșalonul fruntaș al unităților producătoare de energie din țară.

Îndeplinirea sarcinilor multiple și complexe ce au revenit Întreprinderii Electrocentrale Borzești, realizarea cu succes a obiectivelor cuprinse în angajamentele luate în întrecerea socialistă au mobilizat pe toți membrii colectivului la un înalt nivel de exigență și responsabilitate, corespunzător indicațiilor de deosebită valoare date de către tovarășul Nicolae Ceaușescu, secretarul general al partidului, cu privire la funcționarea unităților din sistemul energetic național. Oamenii au fost și sînt conștienți că numai prin munca avîntată, plină de abnegație și eficiență a fiecăruia și a tuturor , se poate asigura progresul continuu și tot mai accelerat al economiei, creșterea avuției naționale și bunăstarea poporului, ridicarea României pe noi trepte de prosperitate și civilizație.

Ing. **Alexandru Spătaru**

Recenzii

CLAUDIA LIDIA SIMIONESCU. **Modele pentru control optimal la sisteme cu parametrii distribuiți**. Editura tehnică, București, 1981.

De curînd a apărut în seria „Matematici moderne aplicate" a Editurii tehnice lucrarea conf. dr. Claudia Lidia Simionescu de la Universitatea din Brașov „Modele pentru control optimal la sisteme cu parametrii distribuiți". Recenta apariție editorială se adresează deopotrivă matematicienilor, care pot găsi „exemple ale modului în care se aplică rezultatele pretențioase de matematică pură", cît și specialiștilor în diverse domenii (inginerilor, demografilor, geologilor, chimiștilor, economiștilor), ce pot găsi informații despre modul în care pot fi abordate probleme de strictă specialitate prin utilizarea teoriei și tehnicilor de control optimal. În prefață, analizînd apariția și etapele de soluționare matematică a problemelor de control optimal, autoarea își exprimă speranța că lucrarea sa va putea deveni un „ghid util" pentru cei confruntați cu „necesitatea de a mînui un aparat matematic pretențios în rezolvarea unor probleme generate de practică".

În primul capitol este definită problema de control optimal și explicată varietatea și complexitatea problemelor de control optimal care nu sînt în general abordabile decît prin metode numerice. Este prezentată apoi clasa restrînsă de probleme pentru care se obțin expresii analitice ale soluției și pentru care calculul lor efectiv conține un anumit grad de dificultate. Sînt expuse metodele de lucru utilizate, ca, de exemplu : tehnici din teoria ecuațiilor diferențiale și cu derivate parțiale, din calculul variațiilor și analiza convexă.

Al doilea capitol relevă eforturile contemporane considerabile de combatere a diverselor grade de poluare, accentuîndu-se asupra fenomenelor de deteriorare și poluare a mediului înconjurător, a aerului și apei. Autoarea accentuează că „în domeniul specific al poluării apei se studiază metode, tehnici, se elaborează modele, se efectuează determinări, toate în scopul îmbunătățirii calității apei, al cărei indicator este oxigenul dizolvat". Sînt prezentate procedeele utilizate de îmbunătățire a calității apei și este subliniat faptul că „în urma a numeroase teste, rezultate optime au fost obținute prin aplicarea conjugată a metodelor".

În continuare este definită o problemă de control optimal pentru unul dintre aceste procedee, și anume aerarea artificială.

Problema de a determina condițiile în care trebuie făcută aerarea astfel încît să se obțină o concentrație maximă de oxigen dizolvat, la un cost minim „devine o problemă de control optimal pentru ecuația de difuzie care modelează sistemul de apă". De asemenea este motivată „alegerea unei funcționale, cost pătratice " deoarece „controlul optimal poate fi obținut ca o funcție de stadiul sistemului", putîndu-se implementa „un control feed-back cu gradul de aerare depinzînd de distribuția instantanee de oxigen dizolvat". Se subliniază că din ecuațiile care dau stadiul optim al sistemului „controlul optimal se obține în funcție de parametrii sistemului". Aceștia însă nu sînt bine cunoscuți sau se pot schimba, în timp de controlul optimal nu se adaptează noilor condiții. Autoarea atrage atenția asupra faptului că, „deși controlul este optimal pentru modelul matematic, acesta poate să nu fie soluția optimă pentru sistemul fizic". Din acest motiv se impune cu necesitate determinarea unui control feed-back. adică a unui control exprimabil ca o funcție de stadiul determinat al sistemului, întrucît este mai apropiată de realitate. În lucrare sînt expuse detaliat procedeele practice ce pot fi folosite pentru aerarea optimă. Este dat un exemplu numeric și este expusă o aplicație la problema depoluării Oltului. La sfîrșitul capitolului este analizată pe scurt problema eficienței controlului optimal.

În capitolul 3 al lucrării sînt discutate aspectele matematice ale producerii energiei din plasmă. Autoarea motivează cu curaj ideea că în prezent „matematica, prin împletirea aproximațiilor numerice cu analiza tradițională în scopul obținerii unor rezultate efective care să poată dialoga cu experimentările fizice, se face din ce în ce mai mult simțită".

Capitolul 4 subliniază importanța pentru studiul fenomenului de ajustaj geostrofic a variației nivelului oceanului în raport cu factorii meteorologici. Astfel, pentru stabilirea nivelului oceanului, „problema care se pune este de a identifica anumiți coeficienți necunoscuți ai modelului, astfel încît rezultatele simulărilor numerice să aproximeze cît se poate de

bine rezultatele obținute pe baza măsurărilor directe, coeficienți ce pot fi utilizați apoi în problemele de predicție a nivelului oceanului.

Sînt prezentate în continuare probleme de identificare a parametrilor atmosferici și sînt expuse soluțiile numerice.

Capitolul următor se ocupă de prezentarea istorică a modelelor matematice în ecologie, fiind definită și o problemă de control optimal în acest domeniu.

În capitolul 6 este definită o problemă de control optimal în procesul obținerii cărbunelui artificial, pentru creșterea temperaturii, cu un minim de cost, astfel încît presiunea să nu atingă valorile maxime producătoare de fisuri.

În toate capitolele lucrării este subliniată necesitatea ca matematica să se sprijine pe faptul real și să servească unor probleme practice stringente, cum ar fi reducerea costurilor, economisirea energiei, limitarea poluării etc. Acestea implică probleme specifice de minimizare ce pot fi definite și pentru care, prin utilizarea tehnicilor moderne ale teoriei controlului optimal, autoarea reușește să ofere soluții numerice.

Autoarea își exprimă profesiunea de credință, de adeziune și slujire a principiului fundamental că valabilitatea matematicii nu poate fi circumscrisă altfel decît avînd drept punct de plecare faptul real, principiul elaborat de acad. Nicolae Teodorescu, creatorul unei adevărate școli de matematică prin elaborarea tratatului devenit clasic „Ecuațiile fizicii matematice" *).

Bazîndu-se pe un vast aparat bibliografic și pe numeroase atestări experimentale, lucrarea demonstrează o dată în plus că problemele vieții practice pot deveni obiect al meditației matematice, că numai elaborarea soluțiilor exacte, corecte, optime, ecconomice poate asigura factorilor de conducere garanția unor decizii științifice.

Volumul de față, avînd ca antecedente o suită de comunicări științifice publicate în țară și în străinătate, în reviste de mare prestigiu, sintetizează o vastă experiență didactică și științifică a matem. Claudia Lidia Simionescu. Ea reprezintă o traducere în fapt a principiilor școlii românești de matematică inițiate de acad. N. Teodorescu, fiind, fără îndoială, o împlinire de excepție.

Elena Teacă și ing. Adrian Teacă

*) Teodorescu N. și Olariu V: Ecuațiile fizicii matematice. Editura didactică și pedagogică, București, 1975.

BENT SØRENSEN. **Renewable energy** (Surse noi regenerabile de energie). Academic Press, London — New York, (1979), XVII + 683 p., 350 fig. și tabele.

Surse noi, regenerabile de energie este termenul generic sub care sînt cunoscute astăzi o serie de resurse naturale a căror utilizare însă a fost pînă în prezent mai puțin acceptată de către om, datorită existenței pe „piața energetică" a purtătorilor primari clasici : petrolul, cărbunele, gazele naturale. Conversia în scopuri utile a noilor surse, regenerabile de energie a jucat dintotdeauna un rol important pentru locuitorii Terrei și, cu excepția unei perioade relativ scurte, perioada revoluției industriale — neglijabilă în raport cu istoria naturală a planetei —, sursele regenerabile de energie au fost, cu foarte mici excepții, singurele la care omul a avut acces.

Studiul surselor noi de energie, regenerabile, al originii și metodelor fiabile și economice de conversie, poate fi caracterizat în prezent drept o știință în curs de dezvoltare. În ultimul deceniu, perioadă în care am asistat la importante mutații în toate sectoarele vieții social-economice ale comunității mondiale, pe fundalul menținerii și adîncirii crizei economice, cu profunde implicații în sectorul energetic și al materiilor prime, s-au depus eforturi semnificative în direcția reconsiderării condițiilor, metodelor și tehnologiilor de valorificare, a evaluării potențialelor economice utilizabile ale surselor de energie regenerabile. Au fost alocate importante resurse de cercetare și dezvoltare tehnologică, fonduri pentru finanțarea acestora, au fost întreprinse numeroase acțiuni pe plan local, regional sau continental la nivel de specialiști sau foruri de decizie guvernamentale în vederea implementării masive a noilor tehnici și tehnologii de conversie, în scopul asigurării energiei pentru dezvoltare.

Lucrarea cunoscutului profesor Bent Sørensen, de la Institutul Niels Bohr și Universitatea din Copenhaga, reprezintă un punct de referință în literatura tehnică de specialitate din domeniu. Abordările în general fragmentare, datorate problematicii largi și multitudinii domeniilor de studiu înrudite cu cel al utilizării surselor noi, regenerabile de energie, au impus necesitatea elaborării unei lucrări de referință cuprinzătoare, care să lege într-un tot unitar elementele de bază (metode și principii) ale acestui domeniu ce a cunoscut, numai în ultimii ani, o dezvoltare uimitor de rapidă.

Un astfel de studiu impune abordarea domeniului prin intermediul a numeroase ramuri ale științei moderne : de la astrofizică și științe spațiale, la meteorologie și geologie, termodinamică, mecanica fluidelor, fizica corpului solid etc. Fiecare disciplină sau domeniu își are vocabularul și termenii de strictă specialitate, folosiți cel mai adesea într-un cadru restrîns, astfel încît lucrările de specialitate se referă foarte rar în mod explicit la aspectele pertinente ale surselor noi, regenerabile de energie. Este meritul autorului de a fi găsit un limbaj comun pentru toate domeniile implicate, fără însă ca prin aceasta conținutul lucrării să sufere, iar cititorul să aibă impresia parcurgerii unui manual.

Privită ca o bogată sursă de informare la zi, lucrarea este structurată pe șapte capitole — dintre care unele mai profund și detaliat elaborate —, conținînd la finele fiecărui capitol un grupaj de întrebări care se constituie într-o continuare a lucrării, firească am spune noi, prin implicarea directă a cititorului la rezolvarea problemelor viitorului.

Precizăm că scopul principal al lucrării — menționat de către autor în prefață — constă în prezentarea unor metode general valabile de abordare a problematicii surselor noi, regenerabile de energie. Din acest punct de vedere, se remarcă, prin cantitatea de informație conținută, capitolul 4 — referitor la conversia diferitelor forme de energie, accentul fiind pus în special pe principiile conversiei mai degrabă decît pe o descriere detaliată a unor echipamente specifice, cît și capitolul 6, care conține o trecere în revistă a combinațiilor posibile de sisteme de utilizare, a elementelor de bază pentru modelarea, simularea și calculul unor astfel de sisteme.

Adăugînd la acestea capitolul 3, al cărui conținut este dedicat evaluării potențialelor teoretice ale surselor noi, regenerabile de energie, a potențialelor amenajabile definite ca posibilitate de valorificare a acestor surse de energie prin tehnologii cunoscute și estimate a fi aplicate într-un viitor previzibil, cititorul are o imagine completă a situației și a implicațiilor viitoare. Sîntem de acord cu părerea autorului conform căreia o prezentare exhaustivă a tehnologiilor de valorificare și bogată în detalii tehnice este inadecvată contextului unei asemenea lucrări, întrucît acestea vor fi în curînd depășite, perfecționate, datorită intensificării continue a eforturilor de cercetare științifică și dezvoltare tehnologică ce sînt depuse azi în majoritatea statelor lumii.

Problemele acumulării și transportului energiei le găsim grupate în cadrul capitolului 5, într-o formă relativ condensată, avînd doar rolul declarat de a servi drept suport pentru capitolul 6.

Aspectele economice, legate de problemele specifice ale planificării energetice pe termen lung, cu precizarea avantajelor și dezavantajelor utilizării surselor noi, regenerabile de energie, sînt prezentate în ultimul capitol al lucrării. Acesta se constituie într-un material preliminar util și — am sublinia —, într-o oarecare măsură, cu unele interpretări subiective din partea autorului, în încercarea de stabilire a unor criterii economice în ceea ce privește „alternativele energetice" ale viitorului. Ceea ce merită a fi subliniat aici este faptul că autorul reușește să evidențieze necesitatea abordării domeniului prin soluții pe termen lung, și nu prin paleative sau provizorate.

Considerăm lucrarea utilă tuturor celor care, mai mult sau mai puțin angrenați în efortul general, încearcă să dea răspunsuri viabile multitudinii de probleme ridicate de domeniul valorificării superioare a surselor noi, regenerabile de energie. Oferindu-se ca material de informare, lucrarea poate fi utilă, în egală măsură, studenților institutelor politehnice cu profil energetic. Deoarece o parte importantă a lucrării tratează aspecte ale sistemelor energetice și elementelor legate de sursele noi de energie, cu referire la conducerea, optimizarea și stabilirea criteriilor economice pentru aprecierea programelor de implementare, inclusiv aspectele sociale și cele legate de protecția mediului înconjurător, lucrarea este interesantă și pentru cititorii din sectoarele de planificare și conducere a sectorului energetic.

Ing. **Marius M. Dăneilă**

E 2039

Cuprinsul revistei „Energetica" vol. 29 (1981)

I. Energetică generală

1. Dăncilă, M., Popescu, C. și Mihăilă, Al. : Scenarii de prognoză privind contribuția surselor noi de energie, neconvenționale, în balanța de energie primară a României în perioada 1980—2000 (2020), nr. 1, p. 1—13.
2. Mihăileanu, C., Pop, M. G. M. și Dăncilă, M. M. : Programul de dezvoltare energetică a României, reflectat în concluziile celei de-a XI-a Conferințe Mondiale a Energiei, nr. 5, p. 205—212.
3. Dăncilă, M. M. : Bilanțul energetic — instrument de analiză cantitativă și calitativă a eficienței transformării și utilizării resurselor energetice, nr. 10, p. 419—426

II. Termoenergetică

1. Dumitru, C. : Determinarea experimentală a temperaturii de echilibru a apei și a coeficientului global de schimb termic apă — atmosferă, nr. 1, p. 21—25.
2. Stanisavlievici, L. : Gradul de regenerare a schimbătorilor de ioni, nr. 1, p. 26—31.
3. Țuțuianu, O. : Continuitatea instalațiilor energetice în zona Grozăvești — București, nr. 1, p. 47—53.
4. Niculescu, N., David, N., Corcodel, C. și Iordache, M. : Contribuții la optimizarea dimensionării rețelelor de termoficare, nr. 4, p. 166—169.
5. Gatman-Săndulescu, E., Antoniu, E. și Penu, A. I. : Noi posibilități de urmărire a calității combustibililor inferiori, nr. 4, p. 169—175.
6. Gooss, W. : Readitivarea uleiurilor de turbină folosite în exploatarea turboagregatelor, nr. 4, p. 179—183.
7. Vulcu, V., Hoffmann, V., Bednar, H. ș.a. : Contribuții privind gazeificarea ligniților de Rovinari, nr. 5, p. 213—214.
8. Gatman-Săndulescu, E., Penu, A. I. și Antoniu, E. : Caracteristicile petrografice ale ligniților din bazinul Rovinari—Motru și implicațiile acestora în CTE, nr. 5, p. 214—217.
9. Bălan, V. și Crețu, A. : Ameliorarea calității șistului bituminos brut prin spălarea în medii dense, nr. 5, p. 218—221.
10. Neațu, V., Matei, M. și Dordea, P. : Stadiul actual al generalizării procesului de aditivare a păcurii sulfuroase și probleme legate de aplicare, nr. 5, p. 234—240.
11. Ivășcanu, Șt. și Comes, A. P. : Coroziunea preîncălzitoarelor de aer regenerative la cazanele generatoare de abur funcționînd pe păcură cu conținut ridicat de sulf, nr. 5, p. 240—247.
12. Nibeleanu, Șt. și Popescu, P. : Experimentarea pe modele a stingerii incendiilor de cărbuni autoaprinși în buncărele de depozitare, prin utilizarea gazelor de inertizare, nr. 5, p. 247—250.
13. Bednar, H., Forje, Alex., Ința, I. ș.a. : Aspecte privind arderea explozivă în amestecuri combustibile gazoase, nr. 6—7, p. 264—272.
14. Ardeleanu, Fl. și Măruță, Al. : Reducerea consumului de combustibil prin optimizarea circuitelor de răcire din centralele termoelectrice, nr. 6—7, p. 272—274.
15. Mihăescu, L. și Mihăescu, T. : Un model matematic pentru estimarea procesului de eroziune a rotoarelor morilor-ventilator, nr. 6—7, p. 280—285.
16. Moțoiu, C., Ionescu, C. și Alexe, Fl. : Turbopompa de alimentare în CET urbane cu unități de mare putere, nr. 8, p. 317—322.
17. Nibeleanu, Șt. și Popescu, R. : Explozii și incendii în instalațiile de preparare a cărbunelui, datorită prafului de cărbune, nr. 8, p. 327—332.
18. Laurențiu, P. : Fenomenul de pompaj și prevenirea lui în exploatarea ventilatoarelor axiale de aer și gaze de ardere ale cazanului de 1035 t/h pe lignit, nr. 8, p. 333—340.
19. Dumitru, C. : Modele de calcul unidimensionale pentru temperaturile apei și aerului la ieșirea din turnurile de răcire umede în contracurent, nr. 9, p. 377—380.
20. Zabunov, M. : Filtrarea electromagnetică a apei de alimentare a cazanelor de abur, nr. 9, p. 381—384.
21. Cocoș, A. A. și Zamfir, S. : Cercetări privind stabilirea valorilor-limită ale indicilor chimici în circuitele de răcire din centralele termoelectrice, nr. 9, p. 384—389.
22. Pănoiu, N. și Mihăescu, L. : Posibilități de mărire a debitului morilor-ventilator de debite mari, nr. 10, p. 435—441.
23. Dumitru, C. : Estimarea cantității de apă evaporată în turnurile de răcire, nr. 10, p. 456—459.
24. Mihăescu, L. : Capacitatea de aprindere a prafului de combustibil solid inferior în jeturi turbionate, nr. 11—12, p. 470—485.
25. Ionescu, I. M., Müller, I. și Constantin, M. : Posibilități de recuperare a masei combustibile din zgură prin recirculare — procedeu de reducere a pierderilor prin nearse mecanice la cazanele ce ard lignit, nr. 11—12, p. 485—489.
26. Niculescu, N., Voinea, M. ș.a. : Contribuții la optimizarea funcționării sistemelor de termoficare, nr. 11—12, p. 501—507.

II. Electroenergetică

1. Bratu, L., Bălan, Gh., Bratu, A. și Enache, R. : Probleme legate de coordonarea izolației în instalațiile de distribuție ale serviciilor interne din centralele electrice, nr. 1, p. 31—38.
2. Moldoveanu, C., Manițiu, V. și Marinescu Raiu, M. : Supraîncărcarea transformatoarelor de distribuție în ulei, nr. 1, p. 39—42.
3. Winter, G., Nicolae, V., Chiroiu, V. și Albrecht, Al. : Cercetări privind reducerea solicitărilor mecanice datorită vibrațiilor provocate de vînt în conductoarele liniilor electrice aeriene, nr. 1, p. 43—46.
4. Sfichi, R. : Asupra unor probleme de compensare a puterii reactive corelate cu reducerea regimului deformant în instalațiile electroenergetice, nr. 2—3, p. 76—81.
5. Pomârleanu, M., Bejuscu, L. și Radu, I. : Analize operative de siguranță a funcționării SEN interconectat cu sistemele vecine, nr. 2—3, p. 100—103.
6. Stein, M. și Diaconescu, St. : Modelarea siguranței în funcționare a schemelor cu rezervare pasivă a echipamentului, nr. 2—3, p. 104—106.
7. Militaru, P. : Prevenirea avariilor în cascadă la liniile de înaltă tensiune, nr. 2—3, p. 107—112.
8. Cristescu, D., Ungureanu, M. ș.a. : Încercarea liniilor de înaltă tensiune în mediul înconjurător. Aspecte legate de zgomotul acustic provocat de descărcarea corona, nr. 2—3, p. 125—130.
9. Golovanov, N., Hurdubețiu, S. și Enache, R. : Caracteristici ale liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune cu mai multe circuite în regim permanent, nr. 2—3, p. 131—135.
10. Bârcă, Cr., Giurgiu, V. și Popescu, B. G. : Echipamente electroenergetice de distribuție și bare capsulate de înaltă tensiune cu SF_6, nr. 2—3, p. 135—139.
11. Șorea, N. : Contribuții privind unele metode de calcul ale oscilațiilor forțate ale conductoarelor LEA sub acțiunea vîntului, nr. 2—3, p. 139—144.
12. Marinescu, G. : Metodă de calcul pentru determinarea regimului economic de funcționare a transformatoarelor, nr. 5, p. 221—230.
13. Popescu, M. : O apreciere critică a metodelor experimentale de evaluare a regimului deformant, nr. 5, p. 250—252.
14. Prelipcean, I. și Sfichi, R. : Influența electromagnetică a LEA 110 kV asupra liniilor de telecomunicații prin luarea în considerare a conductorului de pămînt, nr. 6—7, p. 275—279.
15. Crisciu, H. și Eremia, M. : Minimizarea pierderilor de putere activă prin optimizarea compensării puterii reactive în rețelele electrice, nr. 8, p. 322—327.
16. Moldoveanu, C., Marinescu Raiu, M. și Manițiu, V. : Analiza comparativă a sensibilității principalelor metode

de detecție a defectelor produse de eforturile electrodinamice în transformatoarele de putere, nr. 8, p. 340—352.

17. Buhuș, P. și Comănescu, Gh. : Un punct de vedere cu privire la determinarea valorilor remanente, nr. 8, p. 353—356.
18. Tănăsescu, Al. și Măriеș, H. : Scurtcircuite nesimetrice în rețelele de medie tensiune cu neutrul legat la pămînt prin rezistență, nr. 9, p. 389—395.
19. Cernomazu, D. și Michiu, Gh. : Considerații privind verificarea grupei de conexiuni aferentă transformatoarelor electrice trifazate, prin metoda curentului continuu, nr. 9, p. 396—401.
20. Preda, L., Caba, A. și Tălmaciu, P. : Influența sarcinilor nesimetrice asupra pierderilor de energie electrică în instalațiile trifazate cu patru conductoare, nr. 10, p. 441—447.
21. Savulian, R., Beschea, C. ș.a. : Înregistrator de evenimente cu microcalculator la CTE Rovinari, nr. 10, p. 447—451.
22. Cristovici, A. : Posibilități de reducere a pierderilor pe liniile de foarte înaltă tensiune, prin reglarea tensiunii funcție de încărcarea liniilor și de condițiile meteorologice, nr. 11—12, p. 489—491.
23. Preda, L. și Suflețel, N. : Determinarea sarcinilor nesimetrice limită admise în exploatare de generatoarele și compensatoarele sincrone, nr. 11—12, p. 492—497.
24. Enache, R. : Aspecte ale determinării supratensiunilor la conectarea în gol a unei linii electrice aeriene de 400 kV, nr. 11—12, p. 497—501.
25. Mîrzan, Em., Șerban, V. ș.a. : Experiența de exploatare a funcționării hidrogeneratoarelor de la CHE Lotru-Ciunget în regim consumator de putere reactivă, nr. 11—12, p. 501—507.

IV. Hidroenergetică

1. Blada, Al., Săndulache, D. și Apetrei, Gh. : Model și program pentru calculul regimului optim de funcționare zilnică a centralelor hidroelectrice cu mari lacuri de acumulare, nr. 6—7, p. 291—298.

V. Energetică nucleară

1. Ursu, I., Purica, I., Bădescu-Singureanu, Al. și Schächter, L. : Cercetări de fizică cu aplicabilitate potențială în energetică : conversia directă a energiei nucleare, nr. 4, p. 149—154.

VI. Surse și tehnologii noi în energetică

1. Fara, Fl., Cecan, D. și Grigorescu, R. : Corelații între parametrii termici, hidraulici și constructivi ai cavității receptoare a unei centrale solare cu cîmp de heliostate și turn, nr. 1, p. 13—20.
2. Diaconescu, E. M., Croitoru, V. G. ș.a. : Studiu și încercări asupra rotorului eolian cu ax orizontal și pale plane, nr. 2—3, p. 85—87.
3. Popescu, C., Dăncilă, M. M. și Vărzaru, V. : Centrale solaroelectrice cu ciclu termodinamic — stadiul actual și tendințe de dezvoltare, nr. 4, p. 154—166.
4. Dănilă, N., Mușatescu, V. și Dumitrescu, S. : Posibilități de valorificare energetică a apelor geotermale de la Băile Herculane, nr. 5, p. 252—255.
5. Popescu, C., Dăncilă, M. M. și Vărzaru, V. : Aspecte tehnico-economice ale centralelor solaroelectrice cu ciclu termodinamic de înaltă temperatură, nr. 6—7, p. 298—303.
6. Chisacof, Alex. : Sisteme de recuperare a căldurii din resursele energetice secundare de joasă temperatură cu pompe de căldură, nr. 6—7, p. 304—307.
7. Fetcu, D., Antonescu, N. și Băcanu, Gh. : Grătare din bare cu tuburi termice, o nouă metodă de îmbunătățire a randamentului de ardere în strat a combustibililor solizi inferiori, nr. 6—7, p. 308—312.
8. Șandru, E., Cohut, I. și Suciu, I. : Aspecte ale utilizării apelor geotermale ca agent primar în schimbătoarele de căldură, nr. 8, p. 356—360.
9. Oancea, C., Zamfir, E. și Gheorghiță, Cr. : Studiul aportului de energie solară pe suprafețe plane de captare cu orientări și unghiuri de înclinare diferite, nr. 10, p. 451—456.

VII. Energetică industrială

1. Sfichi, R., Ianos, O. ș.a. : Asupra concluziilor bilanțului electroenergetic în sectorul minier al județului Suceava, nr. 2—3, p. 82—85.
2. Canciu, L., Dobre, V. și Oprișiu, N. : Funcționarea motorului asincron trifazat cu alimentarea în două faze, nr. 4, p. 183—187.
3. Ijac, Gh., Beșa, M. ș.a. : Comportarea grupurilor de acționări electrice cu motoare asincrone la goluri de tensiune, nr. 4, p. 188—193.
4. Moțoiu, C., Pop, M. G. M. ș.a. : Posibilități și perspective de utilizare a căldurii evacuate din condensatoarele turbinelor din centralele electrice din R.S.R., nr. 6—7, p. 257—263.
5. Petrescu, P. și Gherasim, T. : Siderurgia mondială și economisirea materiilor prime, a energiei și combustibililor. Aspecte energo-siderurgice românești, nr. 9, p. 361—372.
6. Moga, M. : Relații practice de calcul pentru stabilirea regimului economic de funcționare a instalațiilor de producere a aerului comprimat din întreprinderi industriale, nr. 10 p. 426—429.
7. Ghia, V. : Influența arderii păcurii pulverizate cu abur asupra căldurii utile cedate în cuptoarele dotate cu arzătoare mici, nr. 10, p. 430—435.
8. Suceveanu, I. D. și Țăruș, Gh. : Reglajul vitezei prin frecvență — sursă potențială de economie de energie, nr. 11—12, p. 465—469.

VIII. Din exploatare

1. Mustață, O., Ani, P. I., Daniliuc, M. și Tecuceanu, R. : Set de programe privind urmărirea și reducerea consumului propriu tehnologic în rețelele de distribuție a energiei electrice din gestiunea IRE Suceava, nr. 2—3, p. 72—74.
2. Chiriac, Tr., Grămadă, A. și Manea, G. : Funcționarea economică a rețelelor IRE Suceava, nr. 2—3, p. 74—76.
3. Chiriac, Tr., Penciuc, L. și Duru, D. : Posibilități de realizare a transmisiei de date în condițiile introducerii sistemelor de teleconducere cu calculatoare de proces. Prezentarea unor modele adecvate IRE Suceava, nr. 2—3, p. 97—100.
4. Boșcoianu, D., Sfichi, R. și Cernușcă, Gh. : Fenomene evolutive ce conduc la deteriorarea unor echipamente electrice în exploatare, nr. 2—3, p. 122—124.
5. Cernomazu, D. : Considerații privind comportarea în exploatare a comutatoarelor de prize de tip liniar, nr. 4, p 193—199.
6. Șchiopu, Gh. : Determinarea secțiunii optime a conductoarelor utilizînd metode econometrice, nr. 5, p. 230—234

IX. Construcții-montaj

1. Luca, V., Andreescu, Fl. și Forje, Alex. : Detensionarea mecanică a îmbinărilor sudate — procedeu eficient și economic, nr. 9, p. 373—377.

X. Articole economice și tehnico-organizatorice

1. Mustață, O., Chiriac, Tr. ș.a. : Considerații cu privire la introducerea sistemului de teleconducere pe bază de calculator în rețeaua electrică de distribuție a IRE Suceava, nr. 2—3, p. 90—96.
2. Ivas, D., Suflețel, N. și Cîrțină, Gh. : Posibilități de modernizare a conducerii operative a stațiilor din rețeaua IRE Iași, nr. 2—3, p. 113—116.
3. Chirculescu, N., Ionașcu, Gh., Mathe, S. ș.a. : Tratarea automată a informației referitoare la verificarea periodică a principalelor echipamente de IT și MT din rețelele electrice, nr. 6—7, p. 286—290.

XI. **Cronică**

1. Staicu, C. I. : Al 7-lea Simpozion internațional asupra transferurilor de căldură și masă în medii poroase, nr. 1, p. 53—54.
2. * * * A IV-A Sesiune de comunicări tehnico-științifice „Producerea, transportul, distribuția și utilizarea rațională a energiei electrice, Suceava, 6—7 noiembrie 1980, nr. 2—3, p. 57—68.
3. Dănilă, N. și Niculescu, N. : A VIII-a Consfătuire a termoenergeticienilor din R. S. România, dec. 1980, Brașov, nr. 4, p. 199—202.
4. Forje, Alex. și Potlog., D. : Două manifestări științifice de înalt prestigiu : Al XVI-lea Congres Internațional de Istoria Științei și Simpozionul Internațional „ oamenii de știință și Pacea", nr. 11—12, p. 461—464.

XII. **Diverse**

1. Dinculescu, C. : Centenarul Institutului politehnic București, nr. 10, p.409—412.
2. Diacon, Al., Moțoiu, C., Nitu, V. I., Purica, I. și Staicu, C. I. : Contribuția învățământului superior la dezvoltarea energeticii românești, nr. 10, p.413—418.

Revista „ENERGETICA"—organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția: București, Bd. Energeticienilor 8, Sector 3. Telefon: 20 67 30. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R.—Sectorul 3. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/7914/1979

I.P.I. c. 1722

41 401

Condiţii pentru prezentarea articolelor la revista „Energetica"

1. Articolul să aibă maximum 12 pagini — excepţional 15 pagini — de 2000 semne (format DIN A4, la 2 rînduri).

2. Textul articolului se dactilografiază pe o singură faţă a hîrtiei ; formulele se scriu clar cu simboluri STAS, se numerotează şi se înscriu între paranteze rotunde ; indicaţiile bibliografice se înscriu între paranteze drepte.

3. Figurile se prezintă în tuş pe calc şi o copie xerox ; figurile foto trebuie să fie clare şi cu contrast pronunţat.

4. În textul articolului se indică locul tabelelor şi figurilor.

5. Bibliografia se prezintă în conformitate cu STAS :

Pentru cărţi : numele autorului, iniţiala prenumelui, titlul cărţii (la cele străine, titlul în original), editura, oraşul, anul.

Pentru articole : numele autorului, iniţiala prenumelui, titlul (la cele străine, titlul în original), titlul periodicului, tamul, anul, pagina.

6. Tabelele, borderourile figurilor şi bibliografia se dactilografiază pe foi separate.

7. Titlul şi textul articolului trebuie să fie clare şi concise.

8. Articolul trebuie să fie sistematizat ; este obligatorie folosirea de subtitluri cu defalcări chiar pînă la ordinul al treilea ; pentru numerotare se va folosi sistemul zecimal (cifre arabe).

9. Articolul se prezintă în conformitate cu următoarea schemă principială : *introducere* (problematica, oportunitatea articolului), *analiză bibliografică* (stadiul problemei, preocupări în lume), *teoria* (fizic şi matematic), *practica* (industrială, experimente de laborator), *comparaţia teoriei cu practica, concluzii, utilizarea rezultatelor.*

10. Articolul va fi însoţit de un rezumat de 150 cuvinte într-o limbă străină de circulaţie mondială, la alegerea autorului.

11. Pentru articolele deosebite, redacţia va solicita ulterior autorilor respectivi scurte prezentări de 1000 cuvinte, în vederea publicării lor simultan în limba engleză.

12. Autorii garantează şi răspund de corectitudinea ştiinţifică a articolelor ; redactarea trebuie să respecte regulile stabilite de Academia R.S.R.

13. Corecturile se vor face de către autori în conformitate cu regulile tipografice sau se dau indicaţii pe foi separate.

14. Articolele primite la redacţie nu se înapoiază.

15. Materialele se predau în două exemplare.

10. Articolele se trimit numai semnate de autori ; se vor indica titlurile autorilor şi locurile de muncă.

17. Pentru articolele în legătură cu activitatea de serviciu trebuie să se prezinte aprobarea de publicare din partea conducerii unităţilor respective.

18. Articolele se trimit la redacţia revistei ENERGETICA pe următoarea adresă :

Revista Energetica
ICEMENERG
Bd. Energeticienilor nr. 8
74568 Bucureşti, Sector 3

19. Informaţii suplimentare se pot cere la telefon : 20.67.30/int. 235

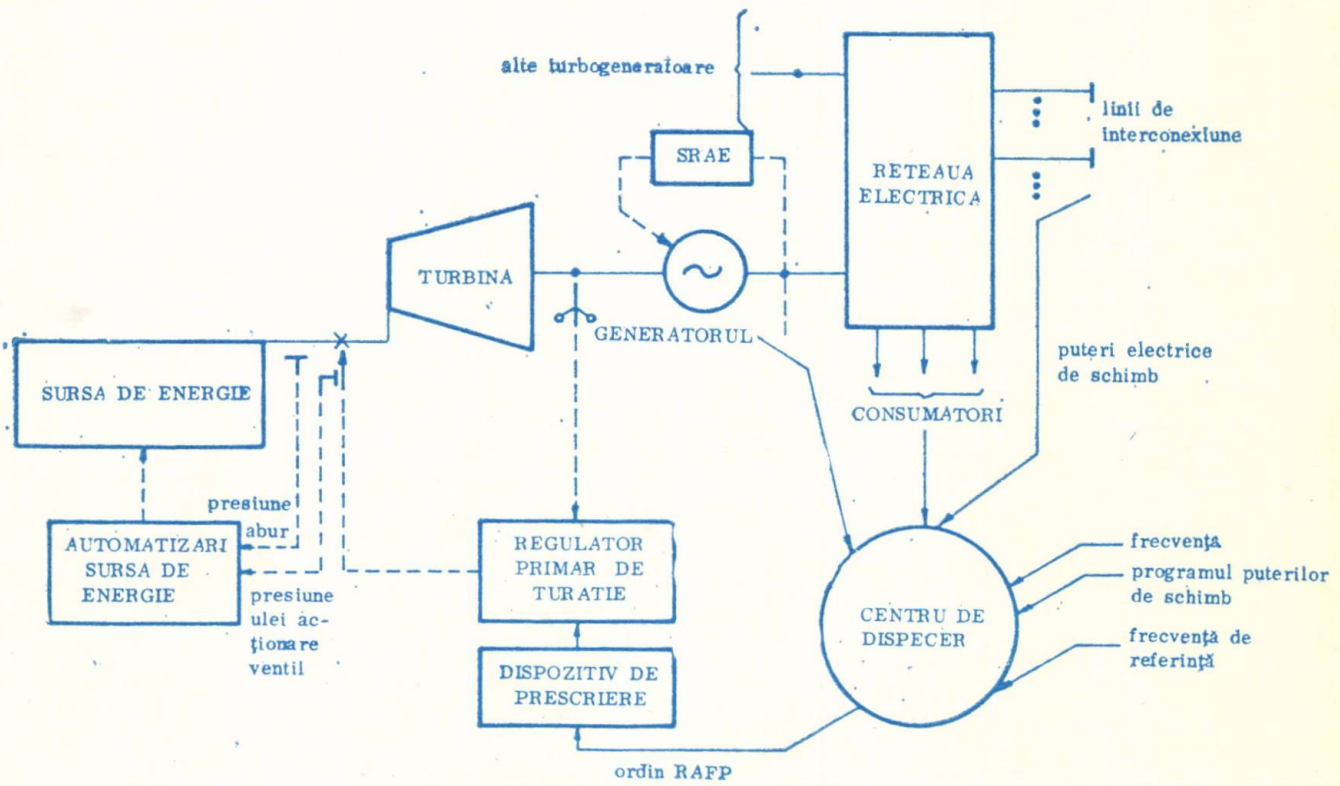
ICEMENERG

INSTITUTUL DE CERCETĂRI
ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE
BUCUREŞTI Sect.III ● B-dul ENERGETICIENILOR, 8 ● Tel. 21.46.30

ICEMENERG prin Laboratorul de cercetări sisteme electroenergetice realizează la un înalt nivel calitativ :

GESTIUNEA ENERGIEI IN SISTEMELE ELECTROENERGETICE PRIN :

1. Implementarea pe calculatoare numerice de metode privind gestiunea optimă a energiei pe termen scurt, mediu şi lung prin :
   - planificarea producţiei, reţelei, consumurilor proprii tehnologice şi achiziţiilor ;
   - gestiunea optimă a rezervelor şi schimburilor de energie ;
   - metode, măsuri şi criterii de optimizare a circulaţiilor de puteri şi de reducere a consumurilor tehnologice în transportul şi distribuţia energiei electrice.
2. Cercetări şi studii privind influenţa noilor echipamente instalate în sistemele electroenergetice asupra condiţiilor de funcţionare sigură şi economică a sistemelor.
3. Determinarea caracteristicilor, indicatorilor şi regimurilor optime ale consumurilor de energie electrică la punctele de racord m. t. 110, 220 şi 400 kV.



CONDUCEREA SI AUTOMATIZAREA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE UTILIZIND :

1. Implementarea de metode pentru planificarea schemelor şi regimurilor normale de funcţionare ale sistemelor electroenergetice.
2. Stabilirea de criterii şi condiţii de sistem, elaborarea de soluţii pentru automatica de creştere a siguranţei şi economicităţii sistemelor electroenergetice.
3. Determinarea prin identificarea experimentală a parametrilor modelelor instalaţiilor de reglare automată din centralele şi reţelele electrice.
4. Soluţii şi teme de proiectare pentru utilizarea calculatoarelor de proces în conducerea sistemelor electroenergetice.

ICEMENERG

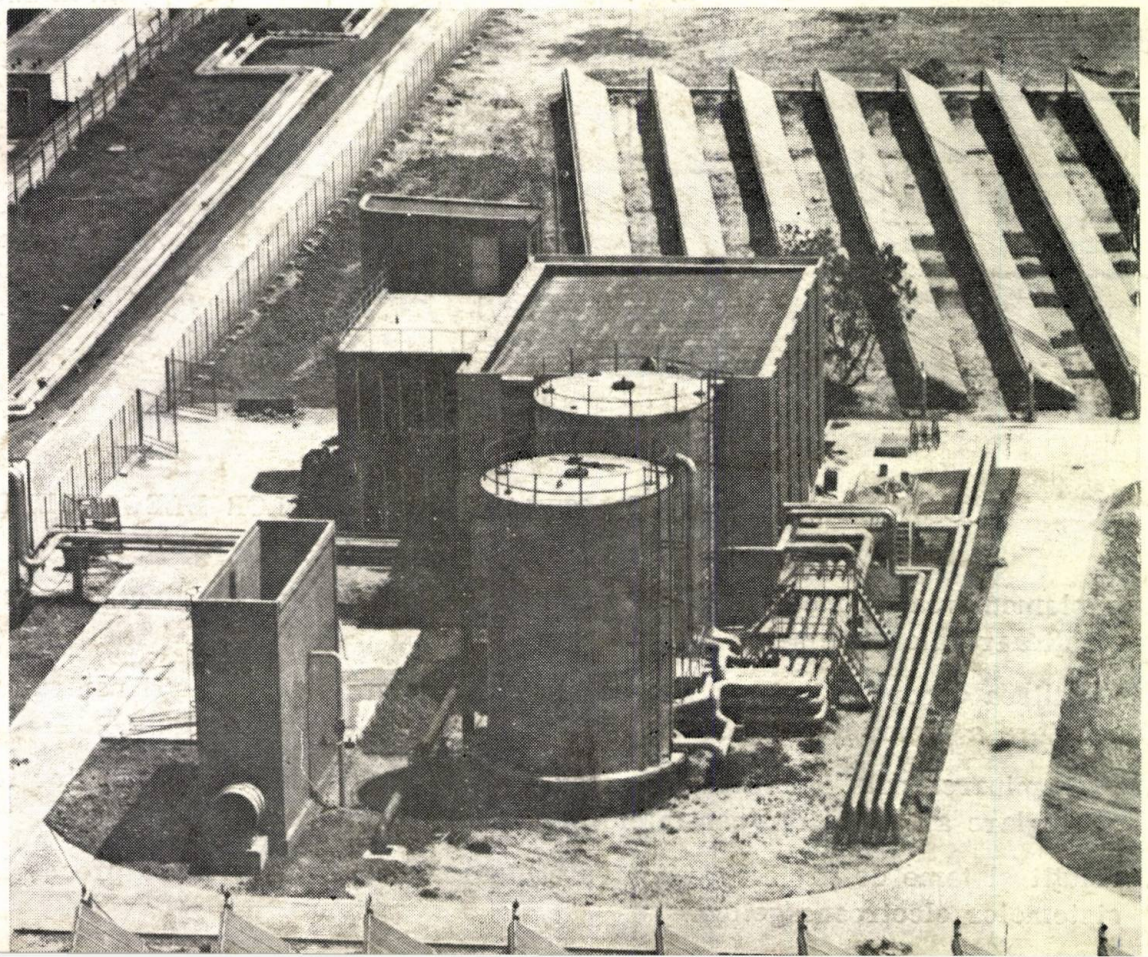
INSTITUTUL DE CERCETĂRI
ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE

BUCUREŞTI Sect III ● B-dul ENERGETICIENILOR, 8 ● Tel. 21.46.30

1982 SEP. 15

CENTRALA SOLARA ELECTRICA 30 kWe

Instalaţie experimentală pentru testarea sistemelor de conversie termodinamică a energiei solare în energie electrică.

Se obţin date de funcţionare în condiţii reale de insolaţie privind :

- sisteme de colectare a energiei solare cu captatoare solare plane ;
- sisteme de acumulare a căldurii de joasă temperatură ($< 100^{o}C$) ;
- grupuri turbogeneratoare cu freon pentru conversia termodinamică a căldurii de potenţial scăzut.